



TITLE:

木質パネルの視覚特性とイメージ(
Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

仲村, 匡司

CITATION:

仲村, 匡司. 木質パネルの視覚特性とイメージ. 京都大学, 1995, 博士(農学)

ISSUE DATE:

1995-03-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3080983>

RIGHT:

木質パネルの視覚特性とイメージ

1995

仲 村 匡 司



口絵1 イメージ調査風景



口絵3 実大パネルを用いた
イメージ調査風景



口絵2 実大パネルと1/50サイズのパネル

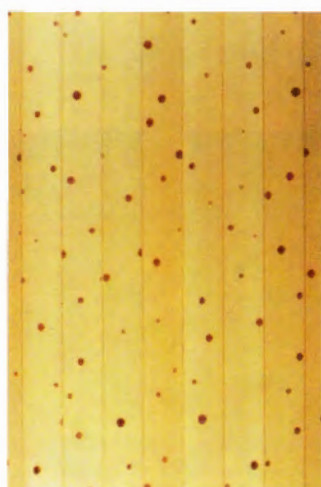
奥：化粧材にマンガシノロ材を用いた実大パネル（120cm×180cm）

手前左：実大パネルを写真に撮って作製した1/50サイズの
パネル（16.4cm×26.4cm）

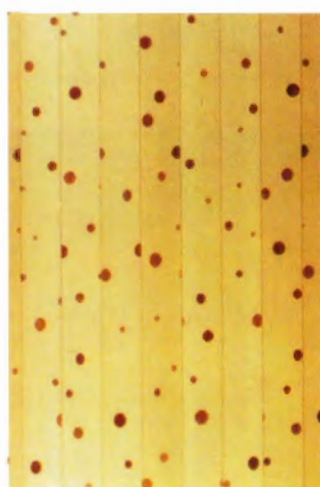
手前右：木材色の色画用紙に黒インクでグループを描いて
作製した1/50サイズのパネル（16.4cm×26.4cm）



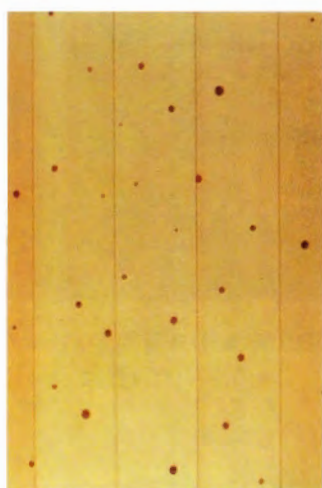
パネル中の節の数： 90
節径(cm)：0.6 - 1.5 - 2.4



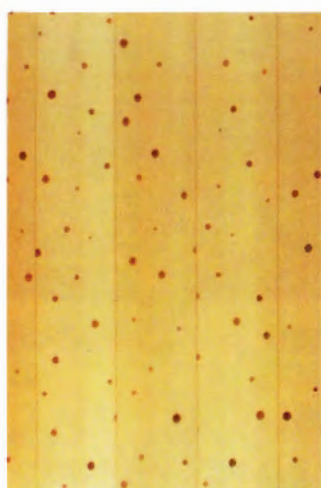
パネル中の節の数： 90
節径(cm)：1.0 - 2.5 - 4.0



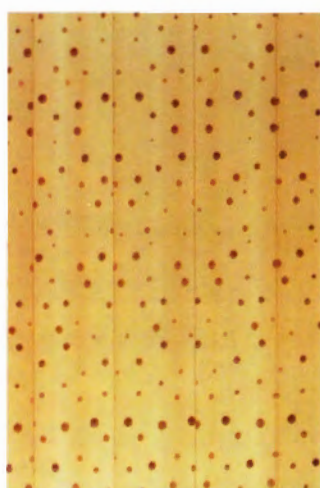
パネル中の節の数： 90
節径(cm)：1.7 - 4.2 - 6.7



パネル中の節の数： 34
節径(cm)：1.0 - 2.5 - 4.0



パネル中の節の数： 90
節径(cm)：1.0 - 2.5 - 4.0

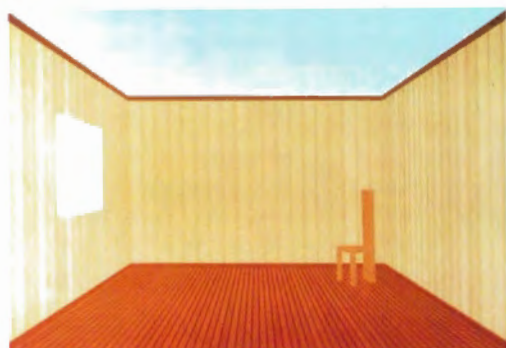


パネル中の節の数： 255
節径(cm)：1.0 - 2.5 - 4.0

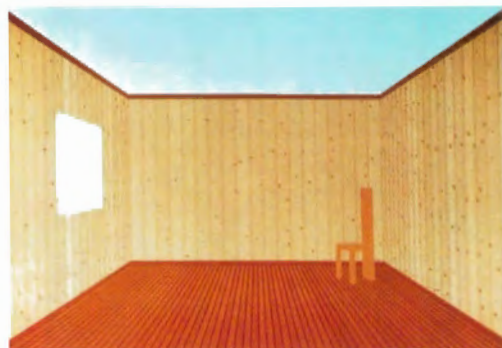
口絵4 節の数、節径、グループ間隔の異なる壁型パネルの例

パネルの実寸法：25cm×15.5cm、パネルの想定寸法：240cm×150cm

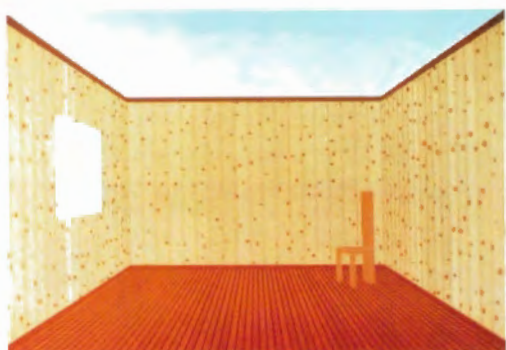
各パネルの下に示されている節径は想定寸法値



1壁面当たりの節の数： 0



1壁面当たりの節の数：216
節径(cm)：0.6 - 1.5 - 2.4



1壁面当たりの節の数：216
節径(cm)：1.0 - 2.5 - 4.0



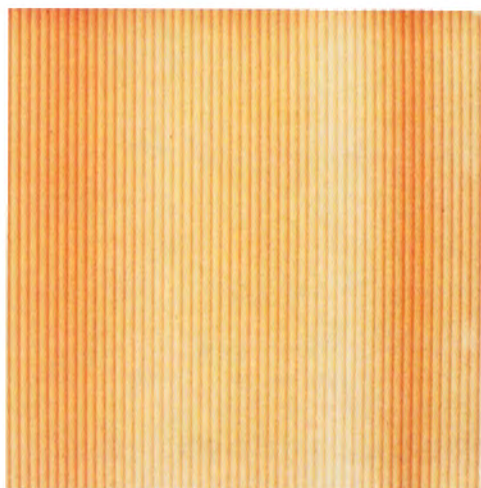
1壁面当たりの節の数：216
節径(cm)：1.7 - 4.2 - 6.7

口絵5 節の数および節径が異なる部屋型パネルの例

呈示用パネルの実寸法：25cm×17cm

部屋の想定寸法：360cm×350cm×240cm（8畳間相当）

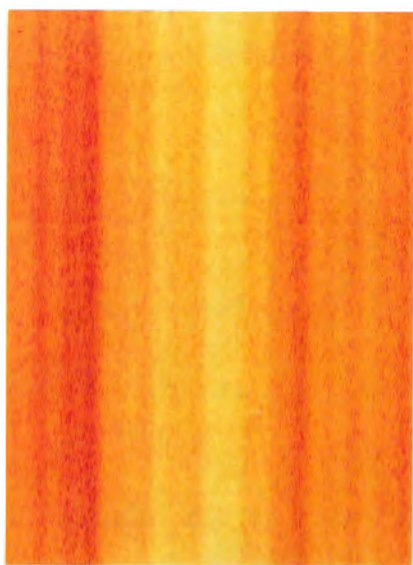
節径は想定寸法値



Type A



Type B



Type C

口絵6 コンピュータ・グラフィックスで生成した濃淡むらの付いたまさ目パターン

Type A: 木理の明瞭な針葉樹材的な
まさ目パターン (16cm×16cm)

Type B: 木理の明瞭な針葉樹材的な
まさ目パターン (15cm×24cm)

Type C: 道管の散在した南洋材的な
まさ目パターン (14cm×19cm)

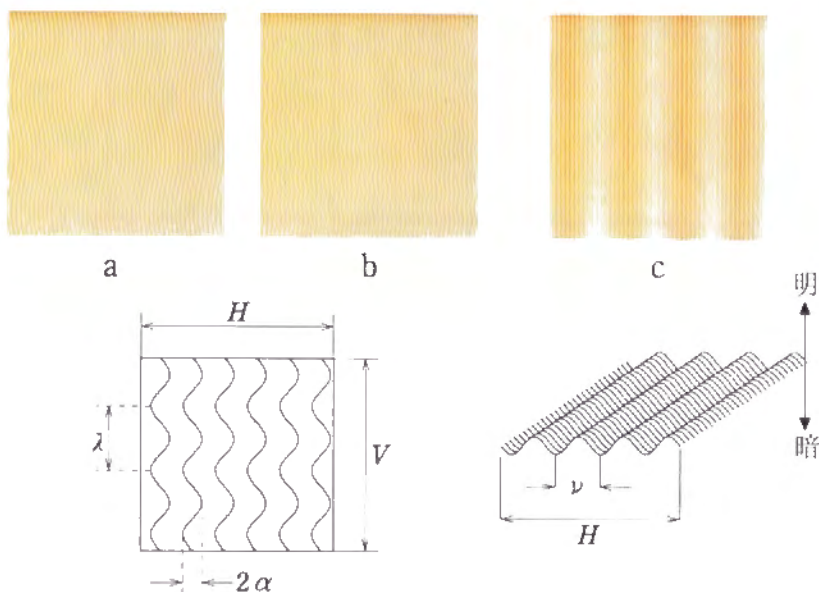


図7 木理の周期性および濃淡むらの周期性の影響を調べるのに用いた呈示用パネルの例

- a: 木理の振幅(α)が変化する系列 (濃淡むらなし)
- b: 木理の周波数(H/λ)が変化する系列 (濃淡むらなし)
- c: 濃淡むらの周波数(H/ν)が変化する系列 (木理は直線)
- H : パネルの横寸法, V : パネルの縦寸法
- α : 木理の振幅, λ : 木理の波長, ν : 濃淡むらの波長

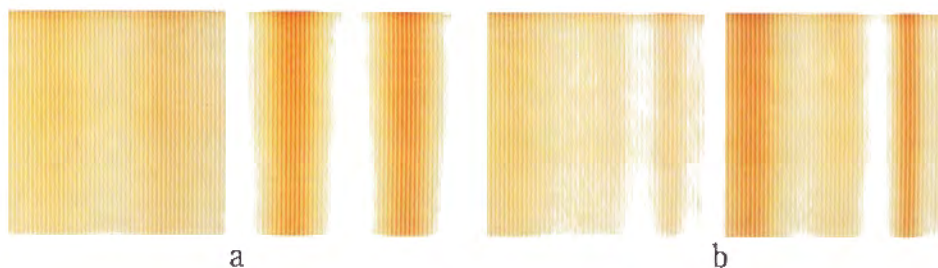
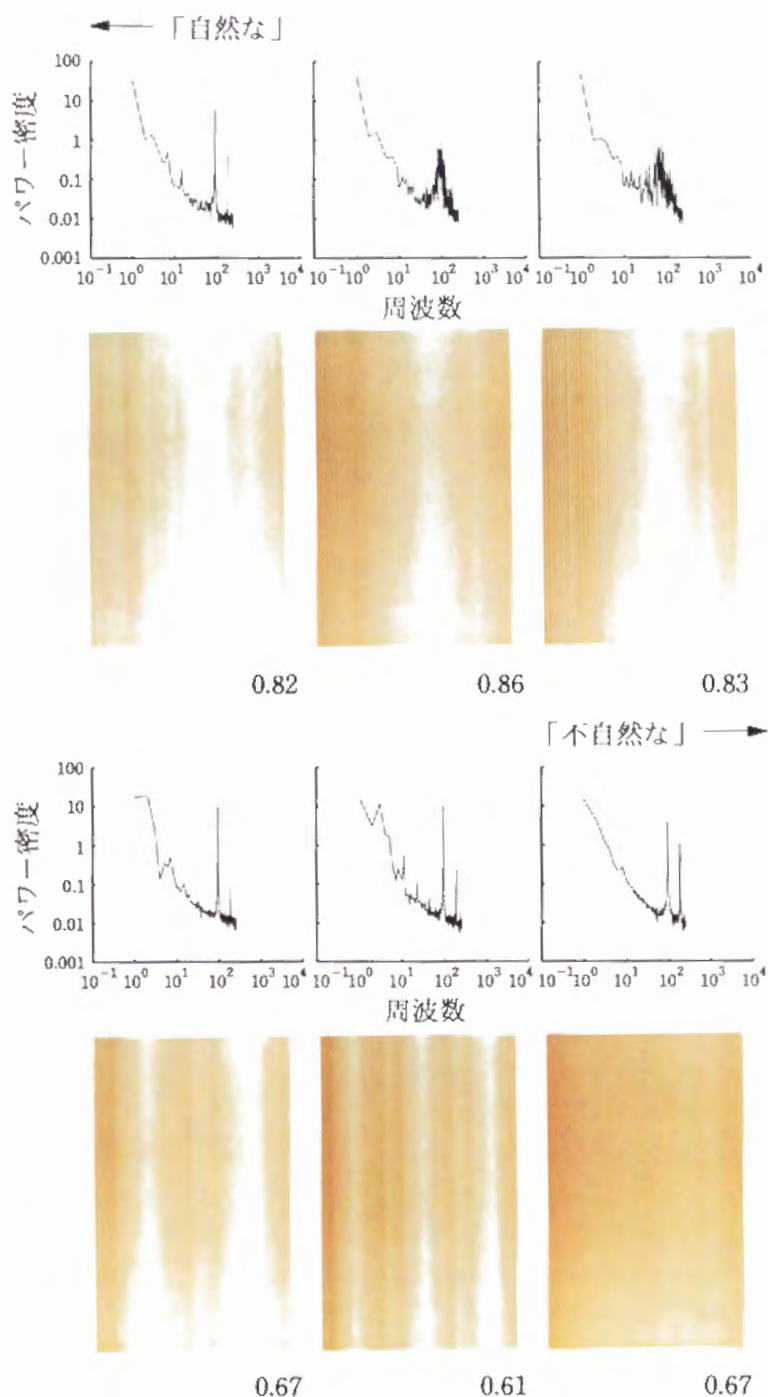


図8 濃淡むらの明度コントラストが異なるまじり目の例

- a: 規則的な濃淡むらの付いた呈示用パネル
(左: コントラスト小, 右: コントラスト大)
- b: 不規則な濃淡むらの付いた呈示用パネル
(左: コントラスト小, 右: コントラスト大)



口絵9 「自然な」イメージの強い3パネルと「不自然な」イメージの強い3パネルの
FFTパワースペクトル（14枚の針葉樹材的なまさ目パターンの調査結果）
スペクトルの横軸はパネル横寸法を基準とする周波数
パネル右下の数値は局所的明度コントラストの変動係数（Cov）

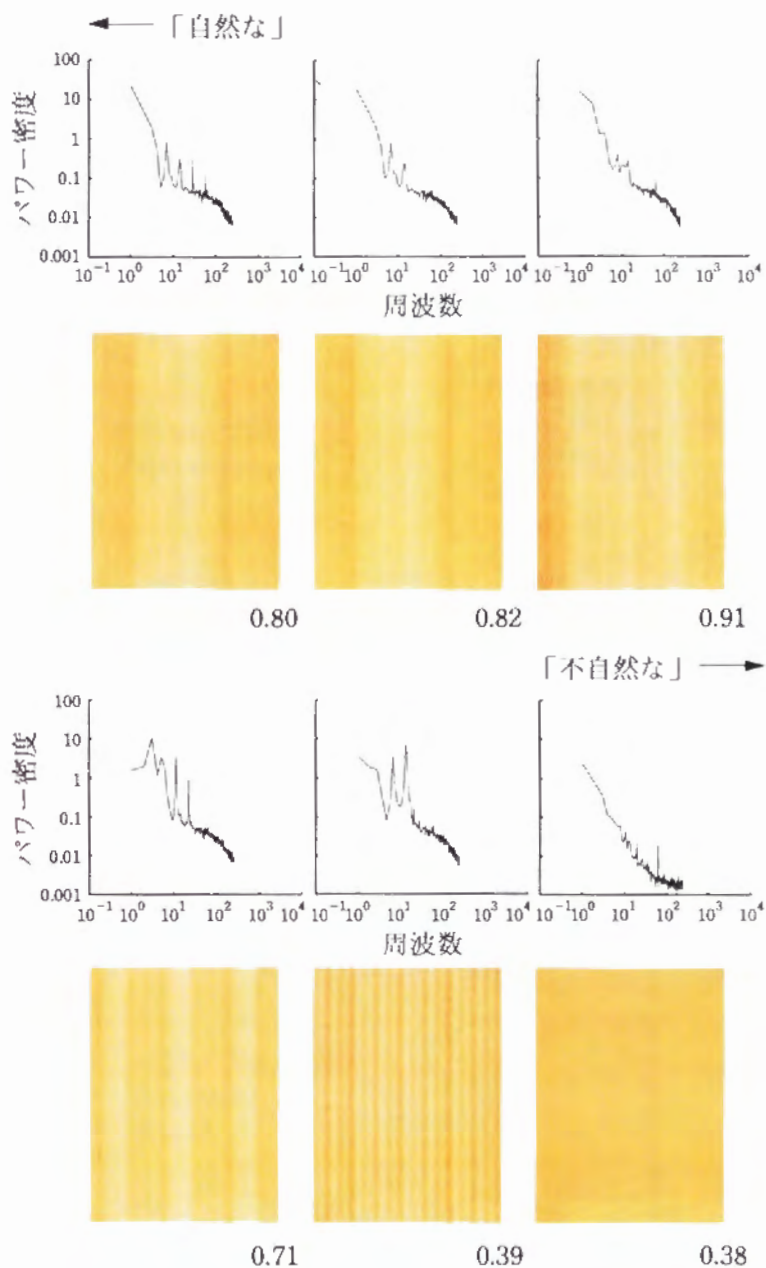
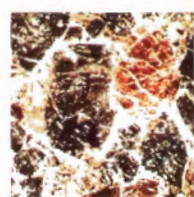


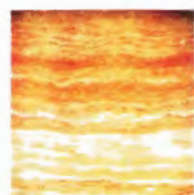
図10 「自然な」イメージの強い3パネルと「不自然な」イメージの強い3パネルのFFTパワースペクトル(22枚の南洋材的なま目パターンの調査結果)
 スペクトルの横軸はパネル横寸法を基準とする周波数
 パネル右下の数値は局所的明度コントラストの変動係数(C_{cov})



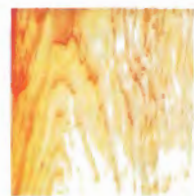
イタリアン・ブラウン
Italian brown



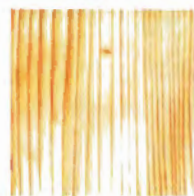
アラベスカート
Arabescato



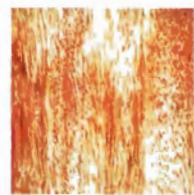
セルペジアンテ
Serpeggiante



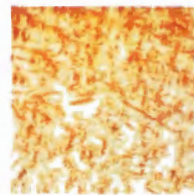
ベイマツ
Douglas-fir
板目



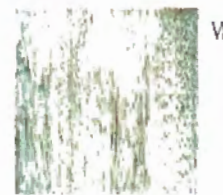
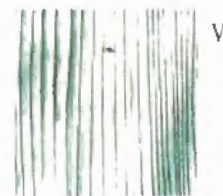
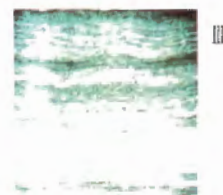
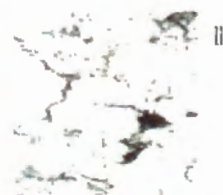
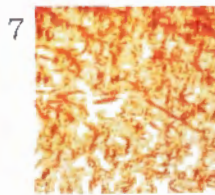
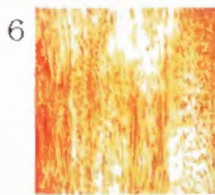
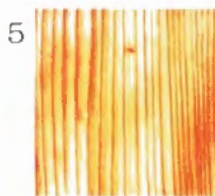
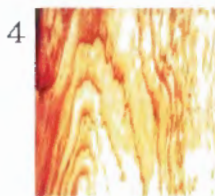
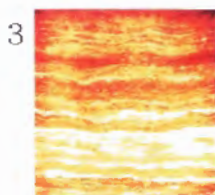
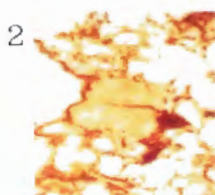
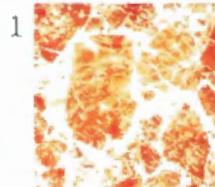
カラムツ
Japanese larch
まさ目



ピンタンゴール
Bintangor
まさ目



カエデ
Bird's eye Maple
鳥眼木



原画像

YR系色タイプ

無彩色タイプ

図11 原画像およびYR系色、無彩色に色調変更した呈示用パネル画像

算用数字、ローマ数字はそれぞれYR系色パネル、無彩色パネルの番号

	頁
第1章 木材の視覚特性	1
第2章 視覚心理量	6
2.1 視覚イメージの調査方法	6
2.1.1 官能検査	6
2.1.2 イメージ調査手法	10
2.1.3 イメージ調査の実施条件	13
2.2 イメージ調査データの処理	16
2.2.1 一対比較法データの処理	17
2.2.2 順位法データの処理	22
2.2.3 7段階評価法データの処理	24
2.2.4 2点設定法データの処理	27
2.3 まとめ	29
第3章 コンピュータ・グラフィックス	31
3.1 デジタル画像	31
3.2 濃淡むらの付いたまさ目パターンの生成法	34
3.2.1 基本となる考え方	34
3.2.2 まさ目パターンの生成	35
3.2.3 濃淡むらの生成	36
3.2.4 南洋材的まさ目パターン	38
3.3 画像処理法を用いた画像生成	39
3.4 カラー画像	41
3.4.1 デジタル画像における色の表現法	41
3.4.2 画像への色の割り付け	42
3.5 XYプロッタによる画像生成	43
3.6 まとめ	44
第4章 木質壁面パネルのグループとイメージ	46
4.1 パネルのイメージと視覚的寸法効果	47
4.1.1 実験方法	47
4.1.2 結果および考察	49
4.2 グループの太さの変化とイメージ	52
4.2.1 実験方法	54
4.2.2 結果および考察	54
4.3 グループの傾斜角度の変化とイメージ	57
4.3.1 実験方法	57
4.3.2 結果および考察	57

4.4 辺比の異なるパネルの最適グループ間隔	59
4.4.1 実験方法	60
4.4.2 結果および考察	61
4.5 有節壁面パネルにおける最適グループ間隔	66
4.5.1 実験方法	66
4.5.2 結果および考察	68
4.6 低周波数視覚刺激としてのグループとイメージ	72
4.7 まとめ	74
第5章 まさ目パターンの濃淡むらの視覚特性	75
5.1 実験方法	76
5.1.1 呈示用パネルの作製	76
5.1.2 イメージ調査	76
5.2 周期性がイメージに与える影響	77
5.3 濃淡むらの最適明度コントラスト	79
5.4 濃淡むらのFFTパワースペクトル	80
5.4.1 パワースペクトルとイメージ	80
5.4.2 パワースペクトルの問題点	83
5.5 局所的明度コントラストに注目した濃淡むらの数量化	84
5.5.1 濃淡むらを定量的に取り扱う手法	84
5.5.2 局所コントラストの変動係数と「自然さ」	86
5.6 まとめ	88
第6章 木と石の視覚的類似と相違	90
6.1 実験方法	90
6.1.1 原画像の選定	90
6.1.2 原画像の入力および画像処理	91
6.1.3 呈示用パネルの仕上げ	92
6.1.4 イメージ調査	92
6.1.5 データ処理	93
6.2 「木らしい」「石らしい」イメージ	94
6.3 「木らしさ」と「あたたかさ」	98
6.4 「木らしい」イメージとパターンの異方性	99
6.5 まとめ	101
総括	103
謝辞	106
文献	107

第1章 木材の視覚特性

生物材料である木材は、見た目に「自然な」イメージを与える。このことは木材が構造用部材として優れていることと同じくらいに重要な木材の特性であり、木材がインテリアの仕上げ材料としても多用されることの理由であると考えられる。

木材の力学的特性については古くから理論的、また実証的研究が多数行われていることは周知の通りである。そしてそれらの成果は新しい木質系構造用材料の開発や、木造建築物の設計基準の制定に応用されている。一方、木材の視覚特性についても、その材色や光沢の光学的な測定は盛んに行われており、従来目視に頼っていた木材の欠点検出の自動化への応用研究が進められている¹⁻⁷⁾。しかし、例えば木材の色から我々がどのような印象を受けるのか⁸⁾、また、木材の艶をどう感じるのか⁹⁾のように、木材の視覚特性と心理的なイメージの関係を定量的に究明した例は少ない。その理由の一つは、あるイメージに影響を与える木材の視覚物理量として何を設定し、どのように数値化するかという重要かつ困難な問題が存在することにある。このため、木材が見た目に「自然」であることは誰もが経験的に知っていながら、どうして「自然に」見えるのかは、定量的にはほとんど明らかにされていないと言っていい。

一方、工学の分野において、心理学や美学の手法を応用してイメージや「感性」と呼ばれる主観的な心理状態を取り扱おうという試みが徐々に進められている^{10, 11)}。その背景には、社会が工業製品に対して機能性だけでなく、イメージや感性を重視する方向に移行しつつあるという現状がある。これらの研究においてもやはり問題となるのが、どのような物理量と感性を定量的に結びつけるかという点である。例えば辻¹¹⁾は、感性情報処理研究の難しさを「自然科学のように記号でその内容を厳密に記述できないこと」「（感性は）本質的に主観的なものであること」と述べている。主観性を極力排除してきた従来の科学的手法と対立する研究分野であるともいえよう。何をどのように数値化すればよいか、様々な試行錯誤が行われつつあり、そのノウハウの蓄積こそが今後のこの分野の発展に不

可欠であろう¹²⁾。木材関連分野においても同様のことがいえる。

本論文はそのような観点に立ち、種々の木質パネルの視覚特性とイメージの関係を定量的に論じるものである。特に「自然な」および「感じのよい」イメージを中心に展開する。冒頭でも述べたように、「自然さ」は生物材料である木材の最も基本的で重要な視覚イメージであり、この「自然さ」が木材の「感じのよさ」につながっていると考えからである。

本論文に先立ち、増田と筆者¹³⁾は有節壁面パネルのイメージ調査を行い、面材と面材の継ぎ目の溝であるグループの太さや色コントラストが、節の有無以上に「自然な」「感じのよい」などのイメージに影響を及ぼす場合があることを見いだした。この知見は、木質空間をデザインする際に、視野内に数本～10数本しか現れないまばらな単純格子刺激がいかに重要であるかを示した例といえる。そこで本論文は、グループという低空間周波数刺激が視覚イメージに及ぼす影響を詳細に検討することから始める。

この研究を遂行していく上での特徴として次の3点があげられる。

- 1) コンピュータ・グラフィックスによる木質パネル画像の作製
- 2) イメージ調査
- 3) 視覚物理量の数量化

これらの3点について、関連する既往の研究を紹介しながら、以下に述べる。

1) コンピュータ・グラフィックスによる木質パネル画像の作製

ある特定の視覚因子があるイメージにどのような影響を与えるか、できるだけ精密に調べるには、木目は同じで材色が種々異なる材などのように、単一の視覚因子のみが系統的に変化する材を収集する必要がある。実際の木材を用いたのではそのような調査はまず不可能である。また、壁体のような実寸法の大きいもののイメージを調べる場合に、実大寸法の呈示用試料を用いることには様々な難しさがあり、必ずしも実用的とはいえない。そこで、本研究ではコンピュータ・グラフィックスを用いて様々な木質パネル画像を表現し、

これを被験者に呈示する試料に用いることにした。これらには、木材色の色画用紙に黒い直線を引いただけの非常に単純な木質壁面パネル画像から、実際と区別のつきにくいリアルなまさ目模様まで、コンピュータで生成した様々な木質パネル画像が含まれる。

本研究のように、木目パターンの心理効果を調べることを目的としてコンピュータで木目模様を作成した例¹⁴⁾もあるが、より一般的にはCAD (Computer Aided Design) の分野などで応用するために、本物らしく見える木目画像の生成そのものを目的とする場合¹⁵⁾が多い。あるいは、鋸断加工面にどのような木目が現れるか予測するという例¹⁶⁾もある。

ここで、「木理」および「木目」という用語について言及しておく。「木理」とは、木材を構成する細胞が材中においてどのような配列をし、どのような方向をとっているかの立体的な分布状態を表す用語である。一方、「木目」については学術的な定義が見あたらないが、本論文では年輪によって形成された木材断面の模様であると考え、前者は木材の3次元的な特徴を表すのに対し、後者は2次元平面の模様を指しているといえる。ただし、材面に表出する様々な模様は全て木理に由来しているため、「木理」が「木目」と同義で使用される事例も多い。木材の組織について議論するのであれば、これらの用語の厳密な使い分けが必要となろうが、本論文ではこの点に関して特に考慮しない。材面に現れている模様を指す場合には、主として「木目パターン」「木目模様」のように「木目」を用いるが、「まさ目パターンの通直な木理」のように「木目」と同義で「木理」を使用することもある。

2) イメージ調査

上で作製した木質パネルの視覚イメージは、複数の被験者にアンケート調査を行って調べる。この基礎となるのが官能検査法である。この方法はヒトの主観に頼っているため信頼性に欠けると印象を与えやすい。しかし、手法を慎重に選択し、データの適切な統計処理を行えば、十分信頼のおける視覚心理量を得ることが可能である。

ヒノキ精油の吸入による気分の変化について、官能検査とヒトの生理応答とを組み合わせ

せて解析した例^{17) 18)}があり、注目される。視覚イメージについても、今後何らかの生理応答と組み合わせることにより、さらに精密な心理データが得られる可能性がある。

3) 視覚物理量の数量化

色や光沢といった視覚的な特徴は、測定法が確立しており、視覚物理量として数量的に容易に示すことができる。しかし、木目模様や濃淡むら、光沢の分布など、主に2次元的に分布している視覚因子については、決め手となる数量化法がまだ確立していない。例えば、木目パターンの数量化法として、チラツキをもとに考え出されたパターン値 a ¹⁹⁾、フーリエ・パワースペクトルの低周波数部の傾き $1/f^x$ の x ^{20, 21)}、パターンのフラクタル性の相似次元 D ²¹⁾ などがこれまでに報告されている。木材関連分野ではないが、かたちを数量的に表す試みとして、シンメトロピーという概念²³⁾や、閉曲線のスペクトル分析²⁴⁾がある。かたちの定量化全般については高木²⁵⁾に詳しい。これらの知見も木材の視覚物理量の数量化に様々な示唆を与えてくれる。

本研究においても、木質パネルの「自然さ」に効く視覚因子の数量化をいくつか試みる。その際、非常に発達してきている画像解析的な手法²⁶⁻²⁸⁾を利用するのも一つの手段である。ただし、これらの手法の多くは心理的なイメージというものを念頭に置いて開発されたわけではない。つまり、我々の視覚のメカニズムを必ずしも考慮しておらず、機械が二値的に画像を区別できることを最優先させたものが多い。心理的イメージを扱う以上、我々が木材をどう見ているかという視覚のメカニズムを考慮して数量化法を考えるべきであろう。これはまた、脳の中で心理的イメージがどのように処理されるのかそのアルゴリズム²⁹⁻³³⁾を類推することにもつながる。

以上のように、本研究では、これまで木材科学の分野ではあまり用いられることのなかった心理学的手法と画像工学的手法を多用する。そこで、これらの手法について明確にし

ておくために、続く第2章では視覚イメージの調査法およびデータの統計的な処理法について詳細に述べ、本研究にとって使いやすいデータ処理法を導く。また、第3章では、本研究で用いたコンピュータ・グラフィックスの技術的な側面を中心に解説する。

第4章より本論に入る。この章では、先に述べた木質壁面における板材と板材の継ぎ目の溝であるグループに注目し、この視覚因子が壁面パネルの見た目の「自然さ」や「感じのよさ」にどのように影響するかを詳細に検討する。そして、「自然な」イメージに最適なグループ間隔がどのような法則に則って決まるのか論じる。

第5章では、木質パネルに現れている低周波数視覚刺激の別の例として、まさ目パターンに現れた「濃淡むら」に注目し、これが「自然な」「感じのよい」イメージに与える影響について調査を行う。また、濃淡むらを数量表現するためにどのような数量化法を用いるべきか検討する。

第6章ではやや視点を変えて、木材の素材感について考える。木材の「自然さ」はその「木らしさ」に基づくものであると考え、同じく「自然な」パターンである大理石との対比から、「木らしさ」「石らしさ」の素材イメージに影響する視覚因子について検討する。

第2章 視覚心理量

木材の見た目の「自然さ」のような感性情報の抽出は、より効果的な木材の利用を進めていく上で、その重要性を増していくと予想される。しかし、「自然さ」を測る科学的な尺度ははっきりしておらず、ヒトが見てこれは自然だ、いや、こちらの方が不自然だといっているに過ぎない³⁴⁾。このため、機器による「感性」の測定は困難であり、多くの場合、ヒトを測定器とするイメージ調査（官能検査）を行うことになる。この手法はヒトの主観に頼るため信頼性に欠けるという印象を与えやすい。しかし、再現性のある適切な方法で調査を行い、データを統計的な手法で処理することにより、信頼できる視覚心理量を得ることができる。

第2章では、視覚イメージの調査方法である官能検査についてまず概説し、本研究で実際に採用した官能検査手法を紹介する。また、どのような実施条件を設定してイメージ調査を行ったかについても述べる。章の後半では、調査データを統計学的心理モデルに基づいた方法で処理した場合と、ここで提案する簡易法で処理した場合とを具体例を挙げながら比較し、本研究で用いるのに有効な視覚心理量が簡易処理法から得られることを明らかにする。

2.1 視覚イメージの調査方法

2.1.1 官能検査

ヒトの感覚を使って行う検査を官能検査 (sensory test) という。辞書³⁵⁾には「官能」とは「感覚器官の機能」および「性的感覚」の二つ定義が記されているが、ここでは当然前者の意味である。また、「検査」という用語は JIS³⁶⁾において、いわゆる「検品」に近

表2.1 分析型と嗜好型官能検査の特徴

	分析型	嗜好型
目的	品質の差の検出 欠点の格づけなど	好みの分析
検査員（パネル）	専門家 人数は少数 識別能力は大	素人 人数は多数 識別能力は小
適用分野	品質管理 工程管理など	嗜好調査 イメージ調査など

い意味で定義されている。同じく JIS³⁷⁾では「官能検査」も定義されているが、それは「鋳工業製品の品質の良し悪しをヒトの感覚で判定する方法」と受け取れるものである。

実際には、官能検査の手法は単に品物を検査・判定するのみではなく、商品のイメージ調査や、消費者の嗜好調査など、「感性」の把握にも応用される。したがって、官能検査の「検査」という語はもっと広い意味を持っており、「測定」や「評価」にも言い換えられる³⁸⁾。それにも関わらず「官能検査」という語が依然用いられているのは、用語としての歴史と、他に代わるべき適当な名称がないことによるらしい³⁹⁾。

官能検査は内容的に「分析型（Ⅰ型）」と「嗜好型（Ⅱ型）」に大別される。増山・小林はこれら二つの官能検査の型を互いに対比する形で表 2.1⁴⁰⁾のようにまとめている。本研究で行うイメージ調査は、被験者が専門家ではないこと、数十人の被験者を使っていること、被験者の主観的判断でイメージを調べていることなどから、嗜好型官能検査に属すると考えられる。ただし、本研究の目的はヒトの嗜好調査ではない。

官能検査の特徴を理化学的な検査との比較でまとめたのが表 2.2^{37, 40)}である。再現性が低いこと、環境の影響を受けやすいことなど、ヒトを測定器とする官能検査は測定機器を用いる理化学的検査に比べて劣るような印象を与えやすい。しかし、実施しやすいこと、測定領域の制約を受けにくいこと、総合判定を行いやすいことのように、機械測定には無

表2.2 官能検査と理化学的検査の特徴

	官能検査	理化学的検査
測定器	人間	機器
測定の過程	生理的、心理的	物理的、化学的
出力	言葉	物理的な数値 または図形など
測定器間または 検査員間の差	個人差は大きい	小さく保つことが可能
再現性	低い	高い
校正	難易は場合による	容易
感度	理化学的検査よりはるかに優れている場合がある	物により限度がある
再現性	低い	高い
疲労と順応	大きい	小さい
訓練効果	大きい	小さい
環境の影響	一般に大きい	一般に小さい
実施しやすさ	機器は不要 簡便・迅速	機器が必要 取扱が面倒
測定可能領域	嗜好などの測定が可能	測れるものに限度がある 嗜好などは測れない
総合判定	やりやすい	やりにくい

い長所もあり、中でも測定領域の制約の受けにくさは官能検査の最大の長所といえる。なぜなら、科学的尺度の無い量は機械では測りようがないからである。見た目の「自然さ」のような視覚イメージは、まさに機械では測ることのできないものであり、これを明らかにするためにはヒトを測定装置に用いる地道な「調査」を重ねていく必要がある。

表 2.3 は官能検査手法の主なものの名称である。ここに挙げられたどの手法を用いても同様の結果が得られるというものではなく、目的に応じて検査法を選択・改良する必要がある。また、データの統計的な処理法も目的に応じて選択しなければならない。この表で網掛けで示した一対比較法、絶対判断法、順位法の 3 手法は比較的よく用いられる手法である。

表2.3 官能検査法の種類

1点試験法	1点識別法 ('A' or 'not A' test, single sample difference test)	
	1点嗜好法 (single sample preference test)	
2点比較法	2点識別法 (paired difference test, two-sample difference test)	
	2点嗜好法 (paired preference test, two-sample preference test)	
3点比較法	3点識別法 (triangle difference test, triangular test for difference, three-sample difference test)	
	3点嗜好法 (triangle preference test, triangular test for preference, three-sample preference test)	
1:2点法 (duo-trio test)		
配偶法 (matching test)		
ふりわけ法 (sorting test)		
ひきぬき法		
選択法 (択一法) (method of choice)		
一対比較法 (paired comparison method)		
絶対判断法	格付け法 (rating method)	…7段階評価法
	採点法 (scoring method)	…2点設定法
順位法 (ranking method, method of rank order)		

なお、JIS の官能検査通則³⁷⁾には、官能検査員を「パネリスト」、その集団を「パネル」と呼び、また、呈示する試験体のことを「見本」と呼ぶことが用語として定義されている。しかし、用語のわかりやすさ、作成した呈示用試験体（主として写真プリントや色画用紙を 5 mm 厚の糊付きスチロール板に添付したもの）の形状などを考慮して、本論文では官能検査員のことを「被験者」、被験者に呈示する板状の試験体を「試料」あるいは「（呈示用）パネル」と呼ぶことにする。さらに、官能検査法に準じて行った視覚イメージのアンケート調査を「イメージ調査」と呼ぶことにする。

2.1.2 イメージ調査手法

本研究では、延べ人数 300 名余の被験者に対して視覚イメージの調査を行った。その調査手法として採用したのは一対比較法と、採点法（格付け法）の一種とみなせる 7 段階評価法である。ここでは一対比較法および 7 段階評価法とはどのような官能検査手法であるかについて解説する。また、本研究では実際には採用してはいないが、後のデータの処理の項で取り上げる 2 点設定法および順位法についても、その概略を述べる。

1) 一対比較法

n 枚の呈示用パネルについて、例えば見た目に「自然な」イメージの強さを調べたいとする。このとき、 n 枚から 2 枚ずつ対にして取り出して被験者に呈示し、対のいずれのパネルがそのイメージが強い比較・判定させる。そして全部で nC_2 組の比較判断の結果を総合して、全 n 枚のパネルの「自然さ」を評価するのが一対比較法である。パネルの呈示の順序効果を考慮して、 nP_2 組の組合せで調査を行うこともあるが、本研究では nC_2 組の比較で行った。

最終的な評価として、イメージの強さの優位性を問題にする場合と、あるパネルが別のパネルよりもどれだけそのイメージが強いかを心理的距離で表せるように間隔尺度を構成する場合がある。本研究では後者の考え方を採用した。具体的なデータ処理については後で詳述する。

呈示用パネルの見た目の「自然さ」などを判定してもらう場合に、訓練や学習を受けていない一般の被験者の頭の中に、イメージの強さを判断するための枠組みや基準が存在しているとは考えにくい。パネルを 1 枚ずつ呈示してどのくらい「自然」か判断を求めても、その評価結果は信頼できないであろう。しかし、2 枚ずつ対になったパネルを呈示する一対比較法の場合、被験者はどちらのパネルの方がより「自然な」イメージが強いのかという相対判断を行うだけである。このため、判定者として未熟練な被験者でもそれほどおかしくない判断ができ、パネルのイメージの強さを着実に順位付けすることが可能となる。こ

れが一対比較法の最大の利点であり、本研究で採用した理由もここにある。

一対比較法は精度も良く、実施も簡易な優れた官能検査法といえるが、パネルの数が増えるにつれ比較すべき対の数が飛躍的に増えていくという、避けられない弱点もある。例えば、5 枚組のパネルの一対比較判断を行う場合、対の数は $5C_2=10$ 組である。ところが、パネル枚数が 2 倍の 10 になると $10C_2=45$ 組であり、比較判断の回数は 4 倍以上になる。比較すべき対の数の増加は検査時間の延長を意味しており、これは被験者に疲労と苦痛を与えてしまって、結局は調査結果に不必要な歪みを生じさせてしまうことになりかねない。そこで、パネル数 10 枚を一対比較法による調査の一応の限界であると考え、それ以上の枚数のパネルを用いる場合には次の 7 段階評価法を採用することにした。

2) 7 段階評価法

n 枚の呈示用パネルについて、例えば見た目の「自然さ」を調べたいとき、「自然な～不自然な」の形容詞対を用いて、非常に「自然な」～「自然な」～やや「自然な」～どちらでもない～やや「不自然な」～「不自然な」～非常に「不自然な」の 7 段階で各パネルの「自然さ」を被験者に評定させるのが、7 段階評価法である（図 2.1 参照）。これは表 2.3 の格付け法（もしくは採点法）に類似しており、心理学では評定法と呼ばれる手法である。一般に格付け法に用いられるデータ処理法からは、パネルのイメージの強さの順位しかわからない。先ほどの一対比較法の結果と比較したいような場合には、各パネルのイメージの強さを心理的距離で表す必要がある。これには系列間隔法 (method of successive intervals) を用いる。具体的な計算法などについては後述する。

7 段階評価法は、一対比較法に比べて 1 枚の呈示用パネルあたりの被験者の判断回数が少なくて済み、かつ、一対比較法同様の間隔尺度が得られるという利点がある。反面、評定しにくいパネルが呈示されると、被験者が「どちらでもない」という評定を行いがちになる（中心傾向の誤差）、多少とも馴染みのあるパネルの評定を高めにする（後光効果）、あるいは、被験者の思いこみで勝手な基準を作って評定する（論理的誤差）、などの欠点

もある。また、評価の最初の方で極端な評価を与えた被験者は、その後の評価も評価軸の末端に集中しがちになる（末端効果）こともある。そこで、評価に入る前に全てのパネルを次々と被験者に見せて、どのようなパネルが登場するのかのおおよそを理解してもらうという対策を講じた。

3) 2点設定法および順位法

本研究において実際に採用した手法ではないが、データ処理の例として後で取り上げる2点設定法および順位法について紹介する。

まず2点設定法である。上であげた7段階評価法のいくつかの欠点は、パネルのイメージの強さを決めるための外部基準が設定されていないことに起因している。2点設定法はこの問題をある程度まで解消できる調査手法である。この方法は増田ら^{41)・42)}によって木材のイメージ調査に用いられた独自の手法である。

2点設定法によるイメージ調査は次のような手順で行う。 n 枚の呈示用パネルの中から、予備調査などの結果をもとに、例えば最も「自然な」イメージの強いと思われるパネル A と弱いと思われるパネル B をあらかじめ選び出しておく。被験者は、パネル $j(j=1,2,\dots,n; j \neq A, j \neq B)$ とパネル A および B を見比べてそのイメージの強さを無段階評価する。このとき、パネル j の評価値がパネル A より大きく、あるいは、パネル B より小さくなってもかまわない。

2点設定法の難点は、基準となるパネル A とパネル B をどのように選ぶかということである。この2枚のパネルが適切に選ばれていないと、結果全体が歪むこともあり得る。

ここで紹介するもう一つの手法である順位法は、 n 枚の呈示用パネルに対して、ある特性の大きさ（例えば見た目の「自然さ」）に応じて順位をつける方法である。順位付けのときに、同順位を認める場合と認めない場合がある。通常は認めない場合が多い。この手法は一度に多数のパネルを使えるので、時間や労力が少なくすむという利点がある。反面、パネルの数が多くなったり、パネル間の差が小さいと被験者が判定しにくくなる。

順位法から得られる心理データは、本来パネルのイメージの強さの順位のみである。この順位のデータを用いて、試料間の相違の有無や被験者の判断の一致性などに関して様々な検定を行う統計的手法がある⁴³⁾。しかし、データ処理を工夫することにより一対比較法と同様の取り扱いが可能となり、パネルのイメージの強さを心理的距離で表すこともできるようになる。

2点設定法、順位法の具体的なデータ処理法については後述する。

2.1.3 イメージ調査の実施条件

4種類の官能検査手法を紹介した。当然のことながら、どのような手法で視覚イメージを調査するかは、事前に慎重に計画しておかなければならない。それと同時に、どのような条件のもとで調査を行うかも、やはり十分に考慮すべき点である。ただし、この実施条件そのものは手法に関わらずほぼ同様である。以下に本研究で設定したイメージ調査の実施条件を列挙する。口絵1は、以下に列挙された実施条件のもとで行われたイメージ調査の実施風景である。

1) 照明条件： 検査室には広い窓のある採光性に富んだ部屋を選んだ。天井の蛍光灯を点灯した状態で写真撮影用の露出計を灰色の画用紙の上にかざし、その読みを参考に、ブラインドの開閉で窓からの入射自然光を加減した。これは調査実施日や天候が異なっても、毎回同じ照明状態が得られるようにするための操作である。

2) パネルの呈示： パネルを被験者に呈示する際には、パネルとその背景の対比（コントラスト）を考慮する必要がある。そこで、中間的な明るさの灰色(N5)の色画用紙(PANTONE Color Paper 424U)を貼りつめた、十分な大きさのあるパネル呈示台を用意し、パネルの背景を統一した。

パネルの呈示は無作為な順番で行った。特に一対比較法の場合には、呈示台の左か右かの出現頻度が左右でなるべく等しくなるようにし、かつ、同一パネルが続けて現れることのないように留意した。

3) 調査用紙： 図 2.1 に、一対比較法、7段階評価法および2点設定法によるイメージ調査に用いたアンケート用紙の例を示す。この図からわかるように、呈示用パネルのイメージを形容詞（および形容詞対）によって調べた。

一対比較法の場合、呈示台の左右にA、Bの記号が付けてあり、被験者は、A、Bどちら側のパネルがそのイメージが強いのか判断して、調査用紙に記入した。なお「A、Bどちらも同等」「どちらでもない」の中間的な判定は許可しなかった。

7段階評価法の場合、被験者は、呈示されたパネルのイメージの強さが7段階評価でどのくらいかを判断して、直線の見盛りの上に印を付した。

2点設定法の場合、被験者は、AとBの間に置かれたパネルのイメージの強さの評価を直線の任意の位置に印を付けることで行った。数直線の見盛りは便宜的な目安に過ぎない。

4) 被験者： 被験者は主として20歳前後の男女大学生であり、1調査当たりの被験者数は20～30名で、男女ほぼ同数とした。ただし、同時に20～30名の調査を行うのではない。呈示用パネルの観察距離をなるべく一定に保つことができ、かつ、能率よく調査が行えることを考慮して、1回の調査につき被験者数は4、5人とした。

眼を使う調査であるので、眼鏡使用者は必ず眼鏡を装着するように要請した。被験者の視力は矯正視力を含めて1.0程度であった。なお、強度の乱視・斜視の被験者のデータ、また、色に関する調査の場合には色覚に障害のある被験者のデータは、集計から除外した。

5) 観察距離： パネルの観察距離は、被験者4、5人同時の検査が行えること、被験者全員の観察距離がなるべく等しくなること、視力1.0程度の被験者であればパネルを正常に

	A	B
1. あかるい	○	○
2. 退屈な	○	○
3. 自然な	○	○
4. ぼんやりした	○	○
5. 派手な	○	○
6. 感じのよい	○	○
7. 安っぽい	○	○
8. 上品な	○	○

一対比較法イメージ調査用紙

非常に	や	や	非常に
はっきりした	○		ぼんやりした
重厚な		○	軽薄な
自然な		○	不自然な

7段階評価法イメージ調査用紙

自然な	A	B
1	○	○
2	○	○
3	○	○
4	○	○

2点設定法イメージ調査用紙

図2.1 イメージ調査用紙の例

視認できること、などを考慮して、135～160cmとした。

6) 調査時間： 同一被験者に複数の系列の調査を行ったので、被験者の拘束時間は60～

90 分となった。被験者の疲労（特に眼の疲労）を考慮して、調査時間が 60 分を越えるような場合には必ず途中で 10 分程度の休憩を挿入ようにした。

2.2 イメージ調査データの処理⁴⁴⁾

官能検査の概念、本研究で用いた手法の概略、そしてイメージ調査の実施条件について述べた。次に、どのような統計的手法を用いて、イメージ調査データから適切な視覚心理量を導くのかについて述べる。

本研究では上で紹介した一対比較法を多用した。この手法には大きく分けて Scheffe の方法、Bradley の方法、そして、Thurstone の方法の三つがある。前二者は数学者が開発した手法であるが、Thurstone 法は計量心理学者 L.L.Thurstone が創り出した方法である。

Thurstone の統計学的な心理モデルによれば、ある呈示用パネルのイメージの強さに對する被験者の評価は、正規分布にしたがう。このため、被験者の判断のバラツキ（標準偏差）を基準に心理尺度を構成して、パネル間のイメージの強さの違いを距離で表すことができる。また、Thurstone 法はイメージの強さを数量的に把握できるようにするだけでなく、データ処理の仕方を工夫することで、順位法、7 段階評価法（系列間隔法）などの他の官能検査手法にも適用できるという利点がある。例えば Saffir⁴⁵⁾ は、同一試料の一対比較法、順位法、系列間隔法による官能評価データを用いて、それぞれから Thurstone のモデルにしたがう心理尺度値を得た。そして、一つの統計的心理モデルに基づくそれらの心理量は相互比較が可能であることを見いだしている。

このような利点があるにもかかわらず、その計算は非常に煩雑である。また、全被験者が特定のパネルに最高あるいは最低の評価をすると、そのパネルの比較判断のバラツキは 0 ということになって、尺度を構成できなくなる（欠測値の問題）。欠測値の問題を回避

する解法も提案されているが、計算はさらに複雑になる。

一方、本研究における視覚イメージの調査は、パネルのイメージの強さの相対関係を把握するためのものであり、イメージの強さそのものの尺度化を目的としていない。そこで、視覚心理量の計算をなるべく簡単に行うために、Thurstone 法が被験者の判断のバラツキを基準に尺度を構成する点に着目した簡易なデータ処理法を考案した。以下では、一対比較法、順位法、7 段階評価法、2 点設定法の順に、それぞれについて Thurstone 法によってデータを処理した場合の心理尺度値を示し、次に簡易処理法から得られる心理量を示す。そして両者の比較から、このイメージ調査データの簡易処理法が本研究にとって有効な心理量算出法であることを明らかにしていく。

2.2.1 一対比較法データの処理

1) Thurstone の case V による尺度化^{46, 47)}

n 枚の呈示用パネルの視覚イメージを N 人の被験者に対して一対比較法で調べる場合を考える。各パネル対を (j, k) で表し ($j, k=1, 2, \dots, n, j \neq k$)、パネル j の方がパネル k よりもそのイメージが強いとする比較判断を、不等号を用いて $j > k$ で表すことにする。また、被験者 i が $j > k$ と判断するとき $h_{ij(j>k)}=1$ 、 $j < k$ と判断をするとき $h_{ij(j>k)}=0$ としてデータを数値化することにする。

N 人の被験者にパネル $j(j=1, 2, \dots, n)$ を呈示してイメージの強さを評定させると、その評定値 s_j は被験者によってばらつくことが予想される。Thurstone のモデルでは、心理的な評定値 s_j は正規分布にしたがってイメージの強さを表す尺度軸に分布するという立場をとり、 s_j は平均値 S_j 、標準偏差 σ_j の正規分布 $N[S_j, \sigma_j^2]$ にしたがう確率変数であると考え、同様にパネル k の評定値 s_k は $N[S_k, \sigma_k^2]$ にしたがうものとする。このとき、パネル j と k の評定の差も平均値 $S_{jk}(=S_j-S_k)$ 、標準偏差 σ_{jk} の正規分布 $N[S_{jk}, \sigma_{jk}^2]$ にしたがう

($\sigma_{jk}^2 = \sigma_j^2 + \sigma_k^2 - 2\rho_{jk}\sigma_j\sigma_k$, ρ_{jk} は s_j と s_k の相関係数)。

すると, (j, k) について $j > k$ という一対比較判断が生じる確率 P_{jk} は,

$$P_{jk} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{jk}} \int_0^\infty \exp\left[-\frac{\{y - (S_j - S_k)\}^2}{\sigma_{jk}^2}\right] dy \quad (2-1)$$

という確率密度関数の積分形となる。 $N[S_{jk}, \sigma_{jk}^2]$ を標準正規分布 $N[0, 1]$ に変換すると,

$$P_{jk} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_{jk}}^\infty \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] dx \quad (2-2)$$

である。積分区間を表す X_{jk} は正規偏差であり、尺度値 S_{jk} の標準正規分布軸上の位置を表している。このとき、次の関係が成り立つ。

$$X_{jk} = -\frac{S_j - S_k}{\sigma_{jk}} \quad (2-3)$$

$$S_k - S_j = X_{jk}\sigma_{jk} = X_{jk}\sqrt{\sigma_j^2 + \sigma_k^2 - 2\rho_{jk}\sigma_j\sigma_k} \quad (2-4)$$

(2-4) 式は比較判断の法則と呼ばれる。

パネル k の尺度値 S_k を求めることを考える。まず、 P_{jk} の実測値 p_{jk} は

$$p_{jk} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_{ij > k} \quad (2-5)$$

より得られる。 X_{jk} の実測値 x_{jk} は p_{jk} の値から正規分布表あるいは近似計算法⁴⁸⁾ から求められる。しかし、(2-4) 式の S_j , σ_j , σ_k , ρ_{jk} は依然として未知数である。そこでいくつかの仮定を導入して、これらの未知数を減らすことにする。

まず、 s_j と s_k は互いに独立であるとし、すなわち $\rho_{jk}=0$ とする。さらに、各パネルの評定値のバラツキである σ_j は一定とし、この値を σ とする。すなわち、 $\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_j = \sigma_k = \sigma$ であり、(2-4) 式は、

$$S_k - S_j = X_{jk}\sqrt{2}\sigma \quad (2-6)$$

となる。ここで、 $\sqrt{2}\sigma$ を単位として、すなわち $\sqrt{2}\sigma=1$ として S の尺度を目盛ることに

すると、

$$S_j - S_k = X_{jk} \quad (2-7)$$

という形にまで (2-4) 式は単純化される。実測値 x_{jk} から S_k を求めるには、最小二乗法により、

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (x_{jk} - X_{jk})^2 \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n (x_{jk} - S_k + S_j)^2 \end{aligned} \quad (2-8)$$

を最小にするように S_k を定めればよい。なお、 $(x_{jk} - S_k + S_j)^2$ を要素とする $j \times k$ の行列は主対角線に対して対称となるので、実際には

$$Q = \sum_{j=1}^n (x_{jk} - S_k + S_j)^2 \quad (2-9)$$

でよい。 Q を S_k で微分して、これを 0 とおくと、

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial S_k} &= -2 \sum_{j=1}^n (x_{jk} - S_k + S_j) \\ \sum_{j=1}^n (x_{jk} - S_k + S_j) &= 0 \end{aligned} \quad (2-10)$$

$$\sum_{j=1}^n S_k = \sum_{j=1}^n x_{jk} + \sum_{j=1}^n S_j \quad (2-11)$$

となる。

ところで、一対比較法は、 n 枚の呈示用パネルの相互比較による相対評価であるので、パネル間のイメージの強さの心理的距離は保証されるものの、原点 0 の絶対的な位置を決めることは本質的に不可能である。しかし、逆に任意の位置に原点を設定しても結果に何も影響しない。そこで原点 0 を n 個の S_j の平均値に設定すると、(2-11) 式の右辺第 2 項は 0 となり、最後に残っていた未知数 S_j も消える。したがって (2-11) 式は、

$$S_k = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{jk} \quad (2-12)$$

となって、パネル k の尺度値 S_k が得られる。

以上が一対比較法データを処理するのに用いられる Thurstone の caseV である。この手法が caseV と呼ばれるゆえんは、未知数を減らすために中ほどで導入した仮定による。

図 2.2a は、上の計算によって得られた心理尺度値の例である。データには、第 4 章で述べる有節壁面パネル 6 枚 ($n=6$) の「自然な」イメージを一対比較法で調べたものを用いた。被験者数は 34 名 ($N=34$) であった。

Thurstone 法で問題になるのは、パネル対 (j,k) について N 人の全被験者が $j > k$ と判断したときである。この場合、実測相対頻度は $p_{jk}=1$ ($p_{kj}=0$) となり、また、 $\sigma_j=\sigma_k=0$ である。すなわち、 $x_{jk}=\pm\infty$ であり、 (j,k) のデータは欠測値となって尺度値を求めることができなくなる（不完備型データという）。欠測値の発生を避けるために、Thurstone 法では $p_{jk}=1$ あるいは $p_{jk}=0$ となることがあらかじめ予想されるパネル対を除外しておくことが望ましいとされる。しかし、本研究では呈示用パネルのイメージの相対関係を的確に把握するために、 $p_{jk}=1$ あるいは $p_{jk}=0$ となることが予想されるパネルをあえて含めることもあり、また、予期せぬパネル対で $p_{jk}=1$ あるいは $p_{jk}=0$ となることもあった。

不完備型データの処理には Gulliksen の方法^{46, 47)}などが知られているが、このままでも煩雑な計算処理がいつそう複雑なものとなる。そこで、被験者の判断のバラツキを尺度に用いるという Thurstone 流の考え方を併せ持つ簡易法で心理量を算出することを試みた。

2) 平均標準偏差で基準化する処理法（平均標準偏差基準化法）

ここで提案する簡易なデータ処理法の基本概念は、「各パネルのイメージの強さの評価の平均値を、被験者の判断のバラツキの平均値（平均標準偏差）で除して基準化する」というものである。以下に計算過程を具体的に述べる。

パネル k は $(n-1)$ 個の他のパネルと比較されるので、被験者 i がパネル k に与える評

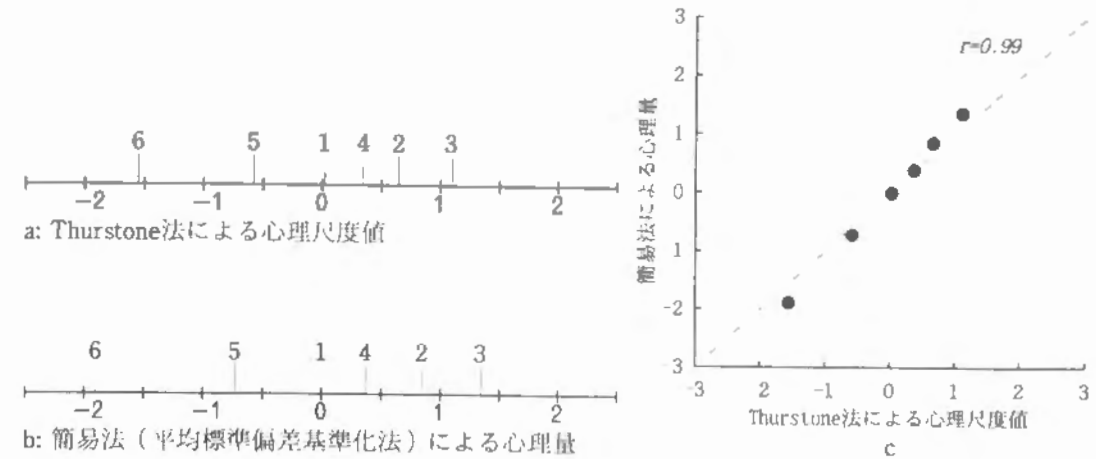


図2.2 Thurstone法と簡易法の処理結果の比較（一対比較法）
木質パネルの「自然な」イメージの調査データ ($N=34, n=6$)。数字は試料番号。

価の最大値は $(n-1)$ である。被験者 i がパネル k に与えた評価値は、次式により相対値 \dot{S}_{ik} で表せる。

$$\dot{S}_{ik} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq k}^n h_{ijk} \quad (2-13)$$

N 人の被験者のパネル k に対する平均相対評価値 \dot{S}_k は、

$$\dot{S}_k = \frac{1}{(n-1)N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq k}^n h_{ijk} \quad (2-14)$$

である。パネル k の評価値の被験者によるバラツキ（分散）を求めると、

$$\dot{\sigma}_k^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\dot{S}_{ik} - \dot{S}_k)^2 \quad (2-15)$$

となる。すると、 n 枚のパネルの標準偏差の平均値 $\dot{\sigma}$ は、

$$\dot{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \dot{\sigma}_k \quad (2-16)$$

で得ることができる。最後に、この平均標準偏差 $\dot{\sigma}$ で \dot{S}_k を除して基準化するのであるが、原点0を平均値0.5の位置に設定するために、

$$\ddot{S}_k = \frac{\dot{S}_k - 0.5}{\dot{\sigma}} \quad (2-17)$$

のようにして、パネル k の心理量 \ddot{S}_k を求める。なお、 $\dot{\sigma}=0$ となることは、実用上まず起こらないものとする。

以上が平均標準偏差で基準化することによる簡易なデータ処理法（平均標準偏差基準化法）の流れである。図2.2bはaと同じデータから心理量 \ddot{S}_k を求め、数直線で表したものである。またcはaとbの比較である。両者には高い正の相関関係が認められ、簡易法で求めた心理量が心理尺度値に類似していることがわかる。

Thurstone法では心理モデルに正規分布を仮定しており、その分布形を表すパラメータとして標準偏差の代表値 σ を用いていた。一方、この簡易法では特に正規分布を前提とせず平均標準偏差 $\dot{\sigma}$ を用いている。それでいて両者が類似した値となるのは、両者が被験者の判断のバラツキを表す σ や $\dot{\sigma}$ を尺度単位としているからである。ただし、 σ と $\dot{\sigma}$ が一致することは少なく、大小取り混ぜて平均する $\dot{\sigma}$ の方がやや小さくなりやすい。このため、簡易法による心理量の方が若干大きくなる傾向がある。図2.2cにもその傾向が現れている。

2.2.2 順位法データの処理

順位法は、イメージの強い順あるいは弱い順に n 枚のパネルを被験者に並べさせる調査法である。このとき被験者 i はパネル j と k を見比べて、 j の方が k よりもイメージが強い、あるいは弱いという一対比較判断を繰り返して、全パネルの順位を決定すると考えられる。すなわち、順位法データは一対比較の形への変換が可能であり、Thurstone法に

よって間隔尺度を構成できる。

被験者 i が各パネルに与えた順位が $R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{ij}, R_{ik}, \dots, R_{in}$ であるとき、次式からパネル j の順位値 R_{ij} を得る。この場合、順位の高いパネルほど順位値が大きい。

$$R_{ij} = n - R_{ij} + 1 \quad (2-18)$$

$R_{ij} > R_{ik}$ のとき、被験者 i はパネル j と k 、すなわちパネル対 (j, k) の一対比較において、パネル j の方を k よりも上位とする $h_{ij > k} = 1$ の判断を下したとみる。当然 $R_{ij} < R_{ik}$ のとき $h_{ij > k} = 0$ である。同様の操作を全組合せ（ nC_2 組）について行い、順位法データを一対比較の形に変換するのである。この後は上述の一対比較法データのThurstoneのcaseVによる処理と同様であり、(2-5)式からの一連の計算過程を経て、(2-12)式から各パネルの心理尺度値が得られる。

ただし、実際には全被験者が $R_{ij} > R_{ik}$ と判断するパネル対 (j, k) が相当数生じることが予想される。このとき $p_{jk} = 0$ あるいは $p_{jk} = 1$ なので x_{jk} を求めることができず、データに欠測値が生じる。図2.3aは、この欠測値の問題を回避するためにGulliksen法^{46)・47)}を併用して得られた心理尺度の例である。原点0は全パネルの尺度値の平均に設定してある。データには21種類($n=21$)の木材の見た目の「あらさ」について順位法で調べた増田ら⁴⁹⁾のものを用いた。このデータの被験者は30名($N=30$)であった。

次に、平均標準偏差基準化法を順位法データに適用する。パネル k の平均順位値 R_k は、

$$R_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{ik} \quad (2-19)$$

で求められる。 R_{ik} 、 R_k を \dot{S}_{ik} 、 \dot{S}_k の代わりにそれぞれ(2-15)式に代入すると、パネル k の順位値の標準偏差 $\dot{\sigma}_k$ が得られる。(2-16)式に $\dot{\sigma}_k$ を代入して平均標準偏差 $\dot{\sigma}$ を求める。 n 枚のパネル全体の平均順位値 \bar{R} は、

$$\bar{R} = \frac{n+1}{2}$$

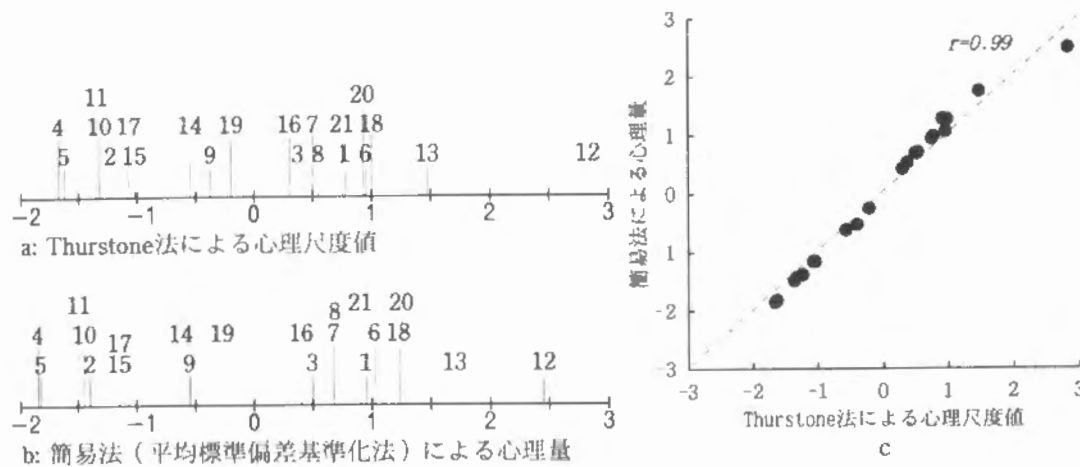


図2.3 Thurstone法と簡易法の処理結果の比較（順位法）
 実際の木材試料の見た目の「あらし」の調査データ($N=30, n=21$). 数字は試料番号.

であるので、原点0をここに設定することにして、(2-17)式と同様に、

$$\ddot{R}_k = \frac{R_k - \bar{R}}{\sigma} \quad (2-20)$$

から心理量 \ddot{R}_k が得られる.

図2.3bはaと同じデータについて求めた \ddot{R}_k を数直線で表したものであり、cはaとbの比較である. 順位法データに簡易法を適用しても、Thurstone法の心理尺度値に類似した心理量が得られることがわかる.

2.2.3 7段階評価法データの処理

図2.1からもわかるように、7段階評価法では「自然な-不自然な」のように対になったイメージを結ぶ軸に両端2点を含む7つの目盛りを付け、被験者にパネルのイメージをこの7段階で評定させる. 各目盛りには「非常に」「やや」「どちらでもない」などイメ

ージの強さを表す語が付けられているが、データを処理するにあたりこれらは適当な整数値(1~7, -3~3など)に置き換えられる.

7段階評価において被験者は、イメージの強さに応じてパネルを7つのカテゴリのいずれかに分類しているとみなすことができる. そのような分類ができるのは、被験者がカテゴリとカテゴリの境界を暗黙の内に設定しているからであり、境界値とパネルのイメージの強さを比較して、そのパネルが収まるべきカテゴリを決定しているといえる. このような考え方でデータを処理するのが系列間隔法である^{50, 51)}. 一般的に表すと次式のようになる.

$$C_g - U_k = X_{kg} \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_g^2 - 2\rho_{kg}\sigma_k\sigma_g} \quad (2-21)$$

($g=1,2,\dots,m-1; j=1,2,\dots,n$)

m : カテゴリの数(7段階評価法の場合 $m=7$)

n : パネル枚数

C_g : g 番目のカテゴリ境界上限値の平均値

σ_g : g 番目のカテゴリ境界上限値の標準偏差

U_k : パネル k の尺度値の平均値

σ_k : パネル k の尺度値の標準偏差

X_{kg} : パネルが g 番目のカテゴリ境界よりも下として判断された

割合 P_{kg} から求められる正規偏差

ρ_{kg} : パネル k とカテゴリ境界 g のとる尺度値間の相関係数

(2-21)式は(2-4)式の S_j をカテゴリの境界値 $C_g(g=1,2,\dots,6)$ と入れ替えた形式であり、カテゴリ判断の法則と呼ばれる.

(2-21)式を解くためにThurstoneのcaseVと同様の仮定が導入され、結局(2-21)式は

$$C_g - U_k = X_{kg} \quad (2-22)$$

のように単純化される. この式は(2-7)式と全く同じである. この後は一対比較法の場合

と同様に、 C_g と U_k の最小二乗解を求めればよい。通常はカテゴリ境界の数 $m-1$ よりもパネル枚数 n の方が大きい($n>m-1$)ので、正方行列の性質を利用して(2-8)式から(2-9)式に変換することはできない。そこで(2-8)式を C_g および U_k で微分して連立方程式を導くことになる。

ここで注意すべきは、系列間隔法から求められる C_g とは、カテゴリの境界値であって、カテゴリの代表値(調査用紙の日盛りの位置)ではないという点である。実際には各カテゴリの代表値がわかる方が、調査用紙の日盛りとの対応がとれて都合がよい。そのためには、

$$(C_{g-1}+C_g)/2$$

として、 g 番目のカテゴリの代表値を求めればよいのであるが、上で示したモデルからは m 個のカテゴリに対して $m-1$ 個の境界値しか得られない。このため、両端のカテゴリを除いた $m-2$ 個のカテゴリの代表値しか得られないことになる。これは場合によっては不便であり、系列間隔法による尺度構成の弱点である。

図2.4aは、系列間隔法によって求められた心理尺度の例である。データには、第5章で述べる濃淡むらのついたまき目パターン14枚($n=14$)の「自然な-不自然な」イメージを7段階評価法で調べたものを用いた。このイメージ調査の被験者数は20名($N=20$)であった。尺度値のレンジがこれまでのものよりも狭いのは、この調査における「自然さ」の判断のバラツキが被験者間で大きかったことを意味している。

次に、平均標準偏差基準化法の適用を試みる。被験者 i がパネル k に与えた評価値を \dot{U}_{ik} とすると、 N 人の平均評価値 \bar{U}_k は、

$$\bar{U}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \dot{U}_{ik} \quad (2-23)$$

となり、(2-15)、(2-16)式と同様にして各パネルの標準偏差および平均標準偏差を求める。

「どちらでもない」の日盛りの値 \bar{U} に原点0を設定して、(2-17)式より、

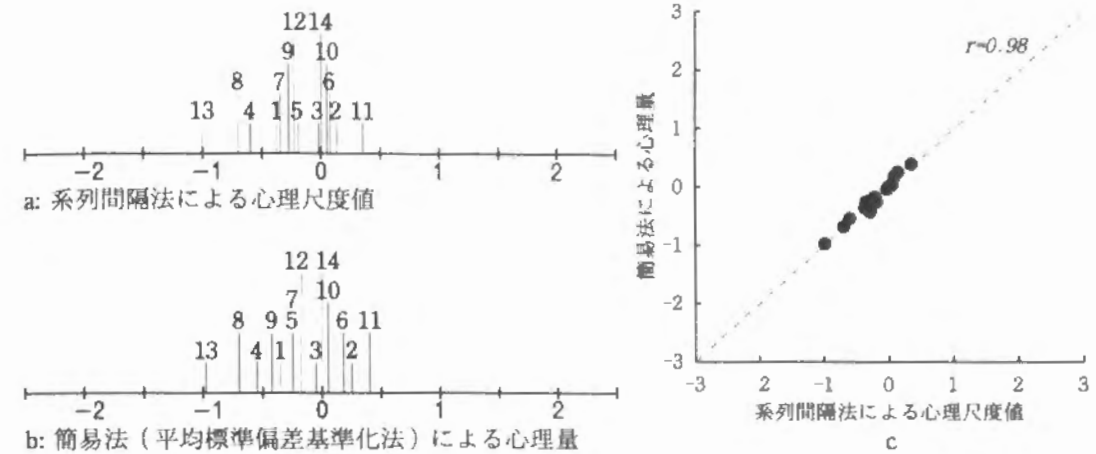


図2.4 系列間隔法と簡易法の処理結果の比較(7段階評価法)

木質パネル画像の「自然な-不自然な」イメージの調査データ($N=20$, $n=14$). 数字は試料番号。

$$\ddot{U}_k = \frac{\dot{U}_k - \bar{\dot{U}}}{\dot{\sigma}} \quad (2-24)$$

のように試料 k の心理量 \ddot{U}_k が求められる。図2.4bに \ddot{U}_k を数直線で表した。aと同様にレンジが狭いのは平均標準偏差 $\dot{\sigma}$ が大きいためである。cはaとbの比較である。値のレンジも含めて、簡易法は心理尺度をかなり反映していることがわかる。

2.2.4 2点設定法データの処理

2点設定法は、 n 枚のパネルからあらかじめ選び出しておいたあるイメージの強いパネルAと弱いパネルBを基準として、パネル j のイメージの強さを無段階で評価する手法である。この手法は増田ら^{8, 9)}によって木材のイメージ調査に用いられた独自の手法であるため、心理尺度を構成するデータ処理の定法はない。そこで、図2.1の調査用紙の例か

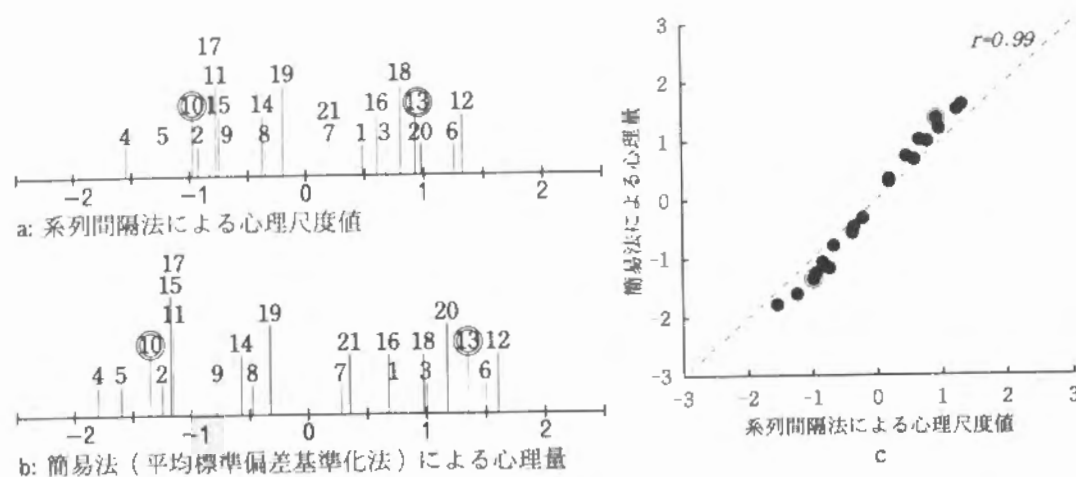


図2.5 系列間隔法と簡易法の処理結果の比較（2点設定法）

木材試料の見た目の「あらさ」の調査データ($N=30$, $n=21$). 数字は試料番号.
二重丸囲み数字およびプロットは、2点に設定された基準試料.

らわかるように、イメージの強さを表す直線に9つの目盛りが付けられていることを利用して、得られたデータを9段階評価法データ($m=8$)に変換し、系列間隔法によって心理尺度を構成してみた。図2.5aは、先述の順位法と同じ21種類($n=21$)の木材の「あらさ」イメージを30名の被験者($N=30$)に対して2点設定法で調査した結果¹⁵⁾である。なお、イメージが強くも弱くもない中間的なカテゴリは、ここでは第5番目のカテゴリとみなせる。そこで第4番目と5番目のカテゴリ境界の上限値 C_4 , C_5 を用いて $(C_4+C_5)/2$ より、第5番目のカテゴリの中央値を求め、これを尺度の原点に用いた。また、基準となるパネルAおよびBの尺度値は、第7番目および第3番目のカテゴリの中央値にそれぞれ相当すると考えられるので、 $(C_6+C_7)/2$ よりパネルAの尺度値を、 $(C_2+C_3)/2$ よりパネルBの尺度値を得た。

一方、平均標準偏差基準化法の場合にはこれまでと同様に処理できる。被験者 i がパネル k に与えた評価値を \dot{T}_{ik} とすると、 N 人の平均評価値 \dot{T}_k は、

$$\dot{T}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \dot{T}_{ik} \quad (2-25)$$

となり、(2-15),(2-16)式より各パネルの標準偏差および平均標準偏差が求められる。パネルAおよびBの中間値 $\bar{\dot{T}}$ に原点0を設定することにして、(2-17)式より、

$$\ddot{T}_k = \frac{\dot{T}_k - \bar{\dot{T}}}{\dot{\sigma}} \quad (2-26)$$

となって、パネル k の心理量 \ddot{T}_k が得られる。図2.5bは \ddot{T}_k を数直線で表したものであり、cはaとbの比較である。2点設定法においても、先述の3手法と同様に、簡易法から心理尺度値に類似した心理量が得られることがわかる。

2.3 まとめ

見た目の「自然さ」や「感じのよさ」のようなイメージあるいは「感性」は、ヒトの主観に頼らなければ測ることのできない測定対象である。そのためには官能検査すなわちイメージ調査を行う必要がある。そこでまず、官能検査の定義およびその意義について述べ、本研究においてイメージ調査を官能検査に準じて行うことの合目的性を明らかにした。さらに、一対比較法、順位法、7段階評価法、2点設定法の四つのイメージ調査手法について、その概念、長所、短所について述べた。また、本研究におけるイメージ調査の実施条件を例にして、再現性が高く信頼できるデータを得るためのイメージ調査の実施環境について言及した。

イメージ調査の実施方法と並んで重要なのが、調査データの処理方法である。得られた心理量が何らかの尺度単位に基づいて表されていれば、イメージを「強さ」として把握す

ることができ都合がよい。計量心理学的手法である Thurstone 法は、一対比較法、順位法、7段階評価法などの心理データから心理間隔尺度を構成する有効なデータ処理法である。しかし、その計算過程は非常に煩雑であるので、心理尺度の構成そのものを目的としないのであれば、なるべく簡便に視覚心理量が求められる方がよい。そこで、被験者の判断の平均的なバラツキ（平均標準偏差）を基準にして簡易に心理量を求めることのできる「平均標準偏差基準化法」を提案した。

この簡易法から得られる心理量と Thurstone 法によって得られる心理尺度との比較から、平均標準偏差基準化法は種々の官能検査データに対して同様に適用できる簡便なデータ処理法であること、また、欠測値の問題に悩まされることなく Thurstone の心理尺度値に類似した値をもつ心理量を得ることができることを示した。厳密な心理尺度の構成を必要としないのであれば、平均標準偏差基準化法は実用性の高い非常に有効なデータ処理法であり、木材の見た目の「自然さ」のような感性情報を的確に効率よく抽出するために、今後様々な方面で活用されることが期待される。

以上の点を踏まえて、本論文では、イメージ調査から得られる心理データを平均標準偏差基準化法で処理して視覚心理量を求めることにした。以後、特に断らない限り、被験者に呈示した試料のイメージの強さは、平均標準偏差基準化法で求められた心理量で表されているものとする。

ある視覚因子が木質パネルのイメージにどのように効くかをできるだけ精密に調べるには、その視覚因子のみが段階的・系統的に異なる複数の呈示用試料を用いてイメージ調査を行う必要がある。ところが、実際の木材からそのような試料を取り出すことは不可能である。そこで、コンピュータ・グラフィックスによって任意の木質パネル画像を自由自在に表現し、これを呈示用パネルに用いることにした。この画像の出来不出来に、イメージ調査の結果は大きく左右されるわけであり、コンピュータ・グラフィックスの果たす役割は非常に大きい。この章では、コンピュータ・グラフィックスの基礎であるデジタル画像についてまず解説し、次に画像生成の実際例をいくつか示すことにする。

3.1 デジタル画像

画像という言葉は様々に使われているが、ここではレンズ系を介して光学的に2次元像に変換された情報と考える。カメラで撮影された写真や、テレビジョンの映像がよい例である。ヒトの視知覚もまた、眼のレンズ系を介して網膜上に投影された2次元像に始まる。図 3.1⁵²⁾ (a) は Einstein のテレビジョン画像である。画面上に直行する二つの座標軸 x - y をとり、ある点 (x,y) の画面の輝度（明るさ）を $f(x,y)$ と表すと、画像を2次元の強度分布を持った信号と考えることができる。これを立体的に表したのが図 3.1(b) である。

網膜像やテレビジョン画像は、明るさ $f(x,y)$ が連続的に変化するアナログ信号である。これをコンピュータが処理しやすいように離散化する。画像の離散化には二つのプロセスがある。一つは座標系を任意の幅で碁盤のように整列した網目に区切り、個々のマス目（画素）を一つの値で代表させるサンプリング (sampling) である。もう一つは、各画素の

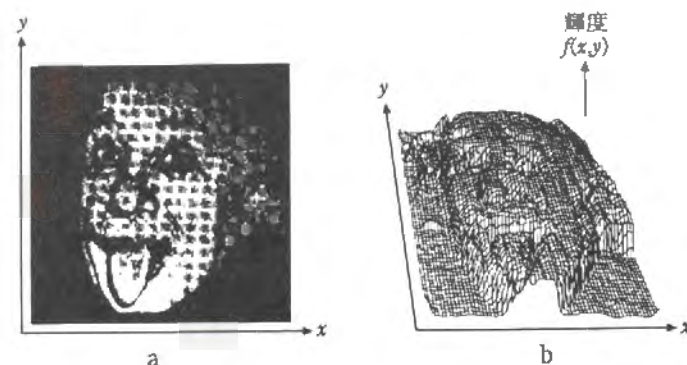


図3.1 デジタル画像
a: Einstein像
b: 画素の輝度に合わせて立体的に表現された画像

明るさ $f(x,y)$ を任意の階調で表現する量子化 (quantization) である。このように、座標と明るさが離散化された画像を、デジタル画像と呼ぶ。

画像のサンプリングはコンピュータが処理しやすいように、画素数が2のべき乗となるように設定されることが多い。1画素当たりの解像度は入力画像の実寸法と画素数から決まる。例えば $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ の木材試料を $512\text{dot} \times 512\text{dot}$ でサンプリングする場合の1画素の解像度は $20\text{cm} / 512\text{dot} = 0.039\text{cm}$ である。量子化においても同様で、明るさの階調数 L はコンピュータが処理しやすい2のべき乗に通常設定される。よく用いられるのは $0 \sim 255$ の $L=256$ である。以後、2次元のデジタル画像を f 、画素 (i,j) の輝度を $f(i,j)$ ($1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N, 0 \leq f(i,j) \leq L-1$; M : 横方向画素数, N : 縦方向画素数) で表すことにする。

デジタル画像 f はコンピュータのメモリに展開される。その意味においてメモリは絵画のキャンバスに例えることもできる。画像を操作するとは、このメモリに広がった画像の画素の輝度を様々に変更することに他ならない。

画像のサンプリングおよび量子化は、コンピュータに接続されたスキャナなどの画像入力装置を使用することにより行う。入力された画像の任意の特徴を強調したり、不要な情報(ノイズなど)を除去したりする様々な加工操作を、一般に画像処理と呼ぶ。また、あ

る領域の面積を測定したり、線の長さや向きを求めたりして、画像の種々の特徴量を測定することを画像解析(画像計測)という。

一方、上とは逆に、計算によって画素の位置 (i,j) とその輝度 $f(i,j)$ を決定して、任意の画像を作り出すことも可能である。これを画像生成と呼ぶ。一般にコンピュータ・グラフィックスというとき、この生成された画像を指す。自然な画像を表現するために、画像生成は画像処理法と組み合わせて行われることも多い。例えば、現在の町並みを画像入力しておいて、そこから電柱や電線、看板などを除去し、新しい建築物を描き入れて、未来の町並みを表現することも可能である。また、画像生成法は動画にも多用され、特に最近の映画の特殊効果はデジタル画像のテクニック無しでは成り立たなくなっている。ただし、本研究における画像は全て静止画である。

生成した画像や処理を施した画像の出力には、その画像の解像度に応じたディスプレイやプリンタなどの画像出力装置が必要である。出力画像がカラーの場合には、解像度だけでなく色再現性が非常に重要になる。本研究で使用した出力装置は、カラーハードコピー装置、ビデオプリンタ、XYプロッタなどである。いずれもコンピュータに接続して使用する画像出力装置である。

以上、デジタル画像について概説した。コンピュータはあくまで計算機であるので、所望の画像を創り出すためには、何を計算すればよいのかの問題を設定して、それを解くために必要なパラメータとプログラムをコンピュータに与えなければならない。そこで、その具体例の一つとして、第5章で用いる濃淡むらの付いたまき目パターンの生成法を次に述べる。

3.2 濃淡むらの付いたまさ目パターンの生成法

図6にコンピュータによって生成された3種類のまさ目パターンを示す。Type AおよびType Bは早晚材の移行に伴う明暗の変化のある針葉樹材的なまさ目パターンであり、Type Cは木理が不明瞭で道管が散在した南洋材的なまさ目パターンである。まさ目パターンの濃淡むらが視覚イメージに与える影響を明らかにする(第5章)ために、これらのパターンには種々の濃淡むらが意図的に付けられている。まず、Type AおよびType Bの針葉樹材的なまさ目パターンを例に、これらのパターンの生成法について述べる。

3.2.1 基本となる考え方

濃淡むらの付いたまさ目パターンを生成する際の基本的な考え方は、下地となるまさ目模様と濃淡むらに相当する明暗変化をオーバーラップさせるというものである。すなわち、まさ目パターンを $f_d(i,j)$ 、濃淡むらパターンを $f_e(i,j)$ とすると、

$$f(i,j) = f_d(i,j) + f_e(i,j) \quad (3-1)$$

として、濃淡むら付きまさ目パターン $f(i,j)$ を得るのである。濃淡むらがなぜ材面に発生するのかの原因などは考慮していない。

ここで、まさ目の木理は完全な直線であることと、濃淡むらは横方向(i 方向)のみの変化で縦方向(j 方向)には変化しない、という二つの単純化を導入する。これにより、 $f(i,j)$ は i 方向にのみ輝度の変化する画像となり、 j 方向については $f(i,1) = f(i,2) = \dots = f(i,N)$ とみなせる。したがって、唯一の $f(i,\cdot)$ を求めてこれを j 方向に隙間なく敷き詰めれば $f(i,j)$ が得られることになる。1次元の問題を解いて2次元の画像を得ているわけであり、効率のよい画像生成法といえる。

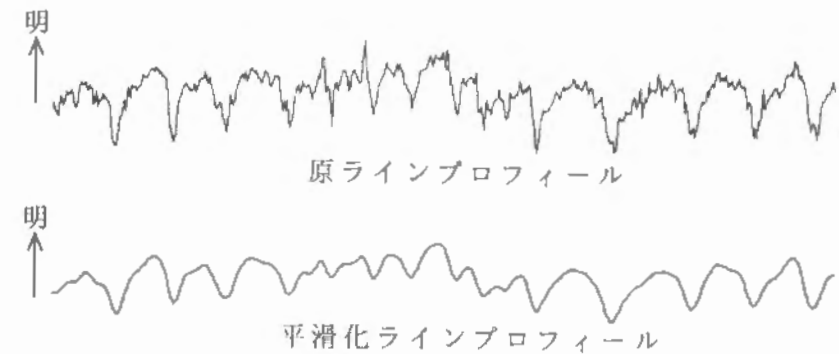


図3.2 カラマツのまさ目板のラインプロファイル

3.2.2 まさ目パターンの生成

そこで、下地となるまさ目パターン $f_d(i,j)$ を考える。ここではまさ目の木理を直線と仮定しているので、 $f_d(i,1) = f_d(i,2) = \dots = f_d(i,N)$ であるから、唯一の $f_d(i,\cdot)$ を計算すればよい。 $f_d(i,\cdot)$ の計算に必要なのは、年輪間隔 W_G 、明暗変化のレンジ L_G 、および、1年輪内での早晚材の移行に伴う明暗変化を表す関数である。

図3.2はプレーナ仕上げされたカラマツのまさ目板の表面を軸方向に垂直に走査して得られる明暗変化曲線(ラインプロファイル)の例である。上側が原ラインプロファイル、下側はそれを平滑化したものである。平滑化プロファイルより、最暗部(早材と晩材の境界部)から大きく立ち上がってやがて頭打ちになり(晩材部から早材部へ移行)、明るい部分がしばらく続く(早材部)という1年輪間における明暗変化がよくわかる。この明暗変化のプロファイルを対数関数で近似してみたのが図3.3である。

ここで考えるべきは、早晚材境界から W_C 離れた点の明るさ L_C である。まず、ある年輪と年輪の間隔 W_G を次式によって決定する。

$$W_G = W_A + rW_B \quad (3-2)$$

ここで W_A は最小年輪間隔、 W_B は年輪間隔の変動量、 r は0~1の実数値をとる一様乱

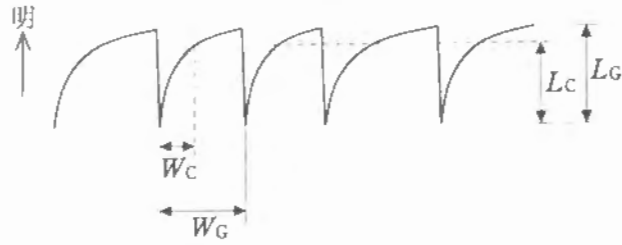


図3.3 1年輪間の早晚材の移行を表すのに必要なパラメータ

数である。(3-2)式より、年輪間隔は乱数によって変動するが、 $W_B=0$ とすれば、現実にはあり得ない完全に等間隔のまさ目パターンが得られる。統計的な平均年輪間隔 W_{avg} は、

$$W_{avg} = W_A + \frac{W_B}{2} \quad (3-3)$$

で表される。

W_C 、 W_G および L_G より、 L_C は次式で求められる。

$$L_C = L_G \frac{\log(W_C)}{\log(W_G)} \quad (3-4)$$

(3-4) 式の分数部分で対数関数を用いているのは、早晚材の明暗の移行に対数曲線を仮定しているからである。結局、まさ目パターンを表現するために計算プログラムに投入すべきパラメータは、 W_A 、 W_B および L_G ということになる。

3.2.3 濃淡むらの生成

下地となるまさ目パターンが出来上がったので、それにオーバーラップさせる濃淡むらパターン $f_s(i,j)$ について考える。濃淡むらもまさ目パターンのときと同様に $f_s(i,1) = f_s(i,2) = \dots = f_s(i,N)$ と単純化されるので、唯一の $f_s(i,\cdot)$ を計算すればよい。さて、 $f_s(i,\cdot)$ をどのよ

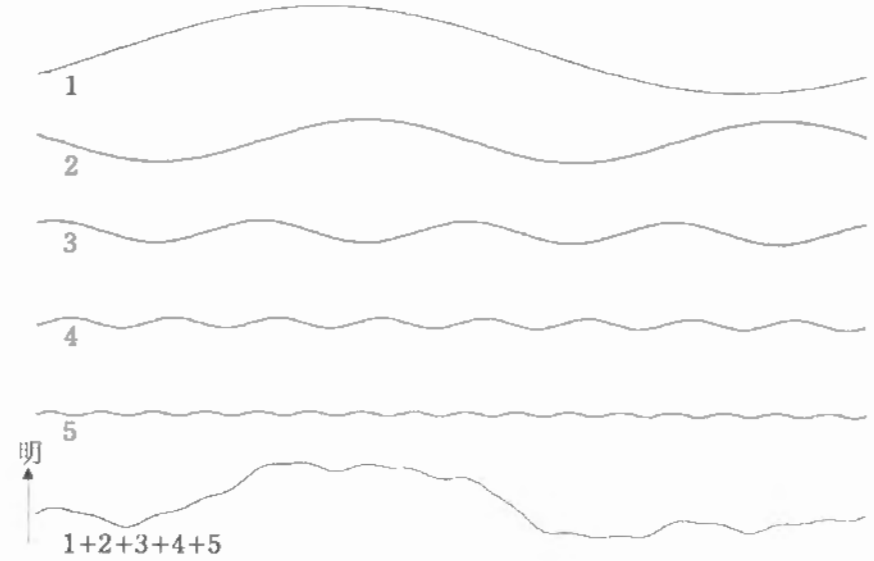


図3.4 正弦波の重ね合わせ (5つの波形を合成する場合)

うな関数を用いて表すかであるが、滑らかな明暗変化曲線を得るために今回は N_s 個の正弦波の重ね合わせで表現することにした。すなわち、

$$f_s(i,\cdot) = \sum_{k=1}^{N_s} A_k \sin(F_k \frac{2\pi i}{M} + P_k) \quad (3-5)$$

ここで A_k 、 F_k 、 P_k はそれぞれ、 k 番目 ($1 \leq k \leq N_s$) の正弦波の振幅、周波数、位相 ($-\pi < P_k < \pi$) である。 $N_s=5$ の場合の正弦波の重ね合わせの例を図3.4に示す。この場合の振幅とは、明暗変化の範囲に相当する。

この図では、各波形の周波数と振幅を、波形1を基準として、周波数が2倍になると振幅は半分になるという条件で与えている。また、各波形の位相は乱数にしたがう。5つの波が重ね合わされた最終波形からわかるように、完全に規則的な正弦波を適当に重ね合わせることによって、正弦波本来の規則性・周期性がほとんどわからない明暗変化曲線を得ることが可能となる。

任意の濃淡むらパターンを得るためにプログラムに投入すべきパラメータは、重ね合わ

せる正弦波の数 N_0 と各正弦波の振幅、周波数、位相である。振幅や周波数、位相が何らかの関係式にしたがって決まるようにすれば、投入するパラメータの数はさらに減る。

実際の木材の表面画像をフーリエ変換して得られたパワースペクトル^{53, 54)}を見ると、周期 1cm 以上の領域では周波数が低いほどパワーが強くなる傾向が現れている。この低周波数領域には濃淡むらの特徴が反映されている。したがって、実際の木材に近い濃淡むらを得たい場合には、周波数の低いものほど振幅が大きくなるように正弦波を重ね合わせればよいことがわかる。なお、濃淡むら付きまさ目パターンのフーリエ・パワースペクトルについては、第5章で詳述する。

以上で、まさ目パターン $f_x(i, j)$ と濃淡むらパターン $f_y(i, j)$ を表現できたので、(3-1)式により濃淡むらの付いたまさ目パターンが得られる。この例では濃淡むらの明暗変化曲線を正弦波の重ね合わせで表現したが、その他にスプライン補間などによる任意曲線を用いる手法も考えられる。

3.2.4 南洋材的まさ目パターン

南洋材の表面画像のフーリエ・パワースペクトル⁵⁴⁾を見ると、材面のテクスチャ的な細かな明暗変化に由来する高周波数側のスペクトルは白色雑音的な特徴を示しており、道管開口部はほぼ at random に材面に散在していることがわかる。また、観察により、道管の長さの平均値および長さの変動範囲、平均的な径、材面における密度などが求められる。口絵 6 の Type C のような、道管開口部が散在した南洋材的なまさ目パターンを画像表現する場合には、これらのデータを参考に、画像生成に必要なパラメータを設定すればよい。

実際の画像生成にあたっては、まず濃淡むら $f_y(i, j)$ を先に生成しておく。次にその上に、方向を揃えた微小線分 l_k をランダムに描いていく。この微小線分が道管に相当する。この操作は粉をふるい落とすのに似ている。

描き入れる微小線分（道管）の総数を N_0 とする。 N_0 の大小によって、道管の密度が

変化する。 k 番目 ($1 \leq k \leq N_0$) の道管を描き始める点 (i_k, j_k) 、および、道管の長さ l_k は、

$$i_k = r_k' M, \quad j_k = r_k'' N, \quad l_k = l_A + r_k''' l_B$$

で決定される。ここで r_k' , r_k'' , r_k''' は 0 ~ 1 の実数値をとる一様乱数であり、 l_A は最小道管長、 l_B は道管長変動量である。道管の描画開始点 (i_k, j_k) は一様乱数によって決まるので、 N_0 本の道管は画像 f 上に at random に散在することになる。 (i_k, j_k) と $(i_k, j_k + l_k)$ の 2 点を任意の太さおよび任意の明るさで結んでいくことにより、南洋材的なまさ目パターンが出来る上がる。

3.3 画像処理法を用いた画像生成

上で述べたのは、何も無いところから数学的に画像を創り出す方法であった。このほかに、元となる画像（原画像）に何らかの細工（画像処理）を施して、イメージ調査に用いる画像を得ることもできる。

例えば第6章では、木目や石目など自然材料固有のパターンが視覚イメージにどのような影響を与えるか明らかにするために実際の木材および石材の写真を利用することにしたのだが、より純粹にパターンの影響を抽出するために画像の平均的な明るさや明度変化の範囲をパネル間で揃えておく必要があった。そのときに用いた画像処理法についてここで述べることにする。口絵 11 は原画像と YR 系色（木材色）およびコンクリートのような無彩色に色調を変えられた画像である。

3.1 でも述べたように、画像とはそれぞれが固有の輝度を持った画素の集合である。画素 (i, j) が輝度レベル a ($0 \leq a \leq L-1$) である確率 $p(a)$ は、

$$p(a) = \frac{N(a)}{MN} \quad (3-6)$$

で近似できる。ここに $N(a)$ は輝度レベル a の画素の数、 MN は総画素数である。このとき、 f の平均輝度レベル \bar{a} および輝度の分散 σ^2 は、

$$\bar{a} = \sum_{a=0}^{L-1} ap(a) \quad (3-7)$$

$$\sigma^2 = \sum_{a=0}^{L-1} (a - \bar{a})^2 p(a) \quad (3-8)$$

で表される。また、当然のことながら、

$$\sum_{a=0}^{L-1} p(a) = 1 \quad (3-9)$$

である。このように、画像は明るさの統計量として表現することができる。ここで、互いに異なる二つの画像 f_1 および f_2 の輝度の分布を統計的に等しくすることを考える。

今、 f_1 の平均輝度を \bar{a}_1 、分散を σ_1^2 、および、 f_2 の平均輝度を \bar{a}_2 、分散を σ_2^2 とする。

両者の平均輝度および分散を \bar{a}_3 、 σ_3^2 に揃えた場合、次式が成り立つ。

$$f_1'(ij) = \frac{f_1(ij) - \bar{a}_1}{\sigma_1} \sigma_3 + \bar{a}_3 \quad (3-10)$$

$$f_2'(ij) = \frac{f_2(ij) - \bar{a}_2}{\sigma_2} \sigma_3 + \bar{a}_3 \quad (3-11)$$

これにより画像 f_1 、 f_2 は、どちらも平均輝度 \bar{a}_3 、分散 σ_3^2 の輝度の統計分布を持った画像 f_1' 、 f_2' となる。両画像の輝度の分布は変更されたが、パターンやテクスチャなどの形に関する情報は元のまま保持されている。

(3-10)、(3-11) 式で表される輝度の変換操作は、画像 f の平均輝度が \bar{a} 、輝度の分散が σ^2 のとき、 f の輝度分布は平均値 \bar{a} 、分散 σ^2 の正規分布 $N[\bar{a}, \sigma^2]$ にしたがうという仮定を、暗黙のうちに取り入れている。もちろん、あらゆる画像の輝度分布が単峰性の正規分布にしがたうわけではない。しかし、この手法で半ば強制的に原画像の輝度を変換するこ

とにより、ほぼ明るさのそろった画像を得ることが可能であった。

3.4 カラー画像

3.1～3.3 では、一般的な説明を行うために、色の概念を盛り込まなかった。しかし、実際に生成した画像はモノクロームではなくカラーである。そこで、ここではコンピュータ・グラフィックスにおける色表現についてまず説明し、次に、どのように色データを画像に割り付けるかについて述べる。

3.4.1 デジタル画像における色の表現法

カラー・テレビジョンでは、光の3原色である R (red), G (green), B (blue) に任意の重みを付けて混色して、様々な色を表現している。色の重ね合わせを表す演算子を \oplus とすると、任意の色 C は、

$$C = rR \oplus gG \oplus bB \quad (3-12)$$

で表される。R, G, B は3原色光の強度であり、それぞれの係数 r, g, b は $0 \leq r, g, b \leq 1$ であり、 $r = g = b = 0$ のとき C は黒色、 $r = g = b = 1$ のとき C は白色となる。

コンピュータで色情報を処理する場合にもこの三原色の重ね合わせが適用される。このとき、 C を表すために必要な rR, gG, bB は量子化され、階調数 L の離散量として表現される。量子化された rR, gG, bB を R_d, G_d, B_d とすると、

$$C_d = R_d \oplus G_d \oplus B_d \quad (3-13)$$

であり、 $0 \leq R_d, G_d, B_d \leq L-1$ である。上と同様、 $R_d = G_d = B_d = 0$ のとき C_d は黒色であり、 $R_d = G_d = B_d = L-1$ のとき C_d は白色である。また、一般に $R_d = G_d = B_d$ のとき

C_d は無彩色（灰色）である。理論的に表現可能な色数は L^3 色となる。 L の値としては、256 (2^8) が一般的によく用いられる。この場合の表示可能色は約 1,677 万色 (2^{24} 色) であり、ほぼフルカラーとみなせる。

デジタルカラー画像 f_C を生成するには、上で述べた考え方を拡張して、R 情報のみを持った画像 f_R 、G 情報のみの画像 f_G 、および、B 情報のみの画像 f_B の 3 画像を重ね合わせて表示することを考えればよい。すなわち、

$$f_C = f_R \oplus f_G \oplus f_B \quad (3-14)$$

このとき、画素 (i, j) の色は、

$$f_C(i, j) = f_R(i, j) \oplus f_G(i, j) \oplus f_B(i, j) \quad (3-15)$$

で表される。

カラー画像では R, G, B の色情報を持つ三つのモノクローム画像をそれぞれ生成しなければならない。そのため、モノクローム画像に比べると、計算処理時間も使用する画像メモリも 3 倍以上必要になる。

3.4.2 画像への色の割り付け

カラー画像を生成する場合、どのような色を各画素に割り付けるかが重要となるが、1,677 万色中から任意の色を画素ごとにいちいち選び出すのは非常に困難である。何らかの規則にしたがって機械的に色が割り付けられる方が望ましい。

そこで図 3.5 のようなモノクロームデータからカラーデータへの変換関係を考える。この図は、任意のモノクローム画像 f_M の輝度範囲 $M_{dmin} \sim M_{dmax}$ を、R 情報について $R_{dmin} \sim R_{dmax}$ に、G 情報について $G_{dmin} \sim G_{dmax}$ に、B 情報について $B_{dmin} \sim B_{dmax}$ に変換する操作を表している。

この輝度の変換関係を表すチャートは Look Up Table (LUT) と呼ばれ、画像の強調処理

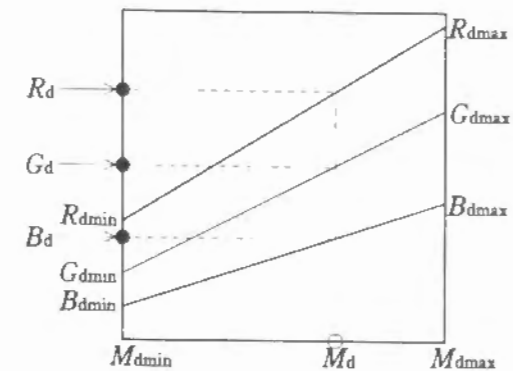


図3.5 モノクローム画像データから
カラー画像データへの変換

や、モノクローム画像を擬似的にカラー表現するような場合に用いられる。木材色のみといった同系色の色変化の場合には、図 3.5 のような一次関数（直線）でも十分変換関数として使用できるが、実際にはどのような関数を用いてもかまわないし、関数形が R, G, B ごとに異なってもよい。R, G, B の変換曲線が交差しても差し支えない。

重要なのは、適切な LUT を用意しておくことにより唯一のモノクローム画像 f_M から、 f_R, f_G, f_B が得られること、すなわち、モノクローム画像からカラー画像 f_C が得られることである。例えば図 3.5 において、 $R_{dmin}=100, R_{dmax}=225, G_{dmin}=50, G_{dmax}=150, B_{dmin}=0, B_{dmax}=100$ の一次関数で定義される LUT は、モノクローム画像をやや赤みのある本物らしい木材色のカラー画像に変換する。

3.5 XYプロットによる画像生成

XYプロットとは、X方向（横方向）およびY方向（縦方向）に自由に動くことのできるペンが、紙の上を移動することによって線画を描く装置である。装置は通信ケーブルに

よってコンピュータと結ばれ、このコンピュータからの描画命令により様々な図を描く。ペンの動きはサーボモータによってステップ制御されており、非常に緻密な図を描くことが可能である。

コンピュータ・グラフィックスというと、これまで述べてきたようなコンピュータのディスプレイに表示されたフルカラーの画像のことにように思われがちであるが、コンピュータで制御されるXYプロッタで描かれた図もコンピュータ・グラフィックスの一つである。ただし、プロッタは基本的に線を描くための装置なので、濃淡の付いた画像を描くのは向いていない（点や線の密度で表現することは可能）。また、色インクペンを用いることはできるがその色数はごく限られている。

XYプロッタで描画される図は、ディスプレイに表示される画像のように多彩な色や微妙な濃淡を表現できないが、画素の制約を受けにくいという特長を持つ。例えば、画素が縦横に整列したディスプレイ上で斜めの線を表示しようとすると線が階段状になってしまうが、プロッタではこのようなことはない。描画精度が画面よりも数段高いのである。

XYプロッタには、出力画像の大きさの制限を受けにくいという特長もある。ディスプレイに表示される画像の場合、出力サイズが大きくなっても画素の数が増えるわけではないので、個々の画素が点として目立つようになって、画質が粗くなる場合がある。

第4章ではXYプロッタのこのような特長を生かして多数の呈示用パネルを作製した。

3.6 まとめ

この章では、本研究で用いた木質パネル画像を生成するためのコンピュータ・グラフィックスの基本的な手法について述べた。まず、デジタル画像の概念について解説し、木目パターンを数学的に創り出す例、画像処理技術を応用してパターンを作る例、カラー画

像の考え方、XYプロッタによる画像生成について述べた。

本研究の目的は本物と見分けのつかない木質パネル画像を生成したり、そのアルゴリズムを考えたりすることにあるわけではない。しかし、品質の良い画像を創り出すことは、精度の良いイメージ調査を行えることにつながる。したがって、いかにしてリアルな画像を生成するかという問題を無視できなかったこともまた事実である。

本物同然の木質パネル画像を生成する技術は、単にイメージ調査のための呈示用パネルを作製するためだけにとどまらず、模造品（イミテーション、フェイク）を作り出す技術への転換が可能である。良質な原木が枯渇しつつある今日、画像生成法によって美しい木目を創造し、建材用の木目印刷紙などに用いることは、資源保護の観点からも意義深いことといえる。上で解説した濃淡むらの付いたまさ目パターンの生成アルゴリズムは、かなり「本物らしい」まさ目画像を創り出すことができる。このまさ目画像を版に用いた印刷木目シートを、巾木など比較的面積の小さい造作用部材のラッピングに使うことは十分可能であると考えられる。

グループとは面材と面材の継ぎ目の溝のことである。床、壁など、木質住空間にはいたるところにグループが現れる。原木丸太から木取りして得られる材の寸法に限界がある以上、木材で広い面積を確保するためには材と材を矧ぎ合わせなければならない。このとき特別な工夫をしない限り、必ずグループが現れる。もちろん、原木丸太をピーリング（かつら剥き）して得られるロータリ単板や、ロールに巻かれた木目印刷紙などを化粧用に用いて合板を製造すれば、かなりの大面積をグループのない状態で確保することも可能である。しかし、グループのある方がデザイン的によいということで、そのような建材にもわざわざグループが入れられていることが多い。この場合のグループは「意匠」である。

例えば増田と筆者¹³⁾は、有節面材のイメージ調査を行い、グループの太さや色コントラストが節の有無以上に「自然な」「感じのよい」などのイメージに影響する場合があることを見いだした。これは、グループが視覚デザイン的に無視できない因子であることを示した例である。

ところがグループの間隔や太さなどをどのくらいにすればよいかということは、最も歩留まりがよくなるように原木から採取された材の寸法と、いわゆるサンパチ（3尺×8尺）、ヨンパチ（4尺×8尺）などの建築設計モジュールとのかね合い、および、建材の生産効率を考慮して一義的に決められていたり、あるいは、建材製造の企画に携わるデザイナーの感覚にしたがって決められているようである。このため、グループが木質壁面のイメージに及ぼす影響を数量的に示そうとする試みは見当たらない。

さて、一般的な壁面を日常の生活距離から見るとき、グループは数本から10数本の直線として観察者の視野に入っているはずである。つまり、グループとは壁面に現れているまばらな格子模様であり、視野内における空間周波数の小さい視覚刺激とみなせる。この章ではグループをこのようにとらえて、これが木質壁面パネルの「自然な」「感じのよい」イメージにどのように影響するかを検討していく。

木質壁面パネルのイメージを調査する場合には、実大寸法の呈示用パネルを用いるのがもちろん望ましい。しかし実際には、パネル作製時の手間やコスト、調査実施時のパネルの運搬などの重労働といった避けがたい困難が伴う。このため、実大パネルと同様の画像情報をもつミニチュアパネルを用いてイメージ調査を行うことになる。そこでまず、視覚的な寸法効果が壁面パネルのグループ間隔とイメージの関係にどのような影響を及ぼすか検討し、ミニチュアパネルを用いて得られたデータの有効性と問題点を明らかにする。

4.1.1 実験方法

住宅内装用に用いられる横120cm、縦180cmの化粧合板を12mm厚の合板に貼って実大パネルを作製した。合板表層部の化粧用単板にはマンガシノロ（*Shorea philippinensis* Brandis）のまさ目突き板（アミノアルキド樹脂塗装による半つや消しクリア塗装仕上げ）を用いた。マンガシノロの突き板には際だった木目がなく、グループは明瞭である。ただし、交錯木理によるリボンもく（空）が現れており、それによる縞模様が各フリッチに現れていた。重いパネルなので、移動の便がよいようにパネルの下側3ヶ所に直径30mmの戸車を取り付けた。口絵2は実大パネルの例であり、また、図4.1は調査に用いた6枚の実大パネルの模式図である。この図からわかるように、グループ間隔はいずれも等間隔とした。

イメージ調査は一対比較法で行った。観察距離の影響を調べるために、約4mの距離からパネルを観察するS群、および、約8mの距離から観察するL群に被験者を分けた。S、L群の被験者はそれぞれ異なる24名および26名の男女学生で、両群とも着席してパネルを観察した。口絵3はイメージ調査の実施の様子である。

実大パネルの約1/50の大きさに相当するミニチュアパネルも2種類作製してイメージ調査に用いた。一つは、実大パネルをそれぞれカラー写真に撮影し、そのカラープリント

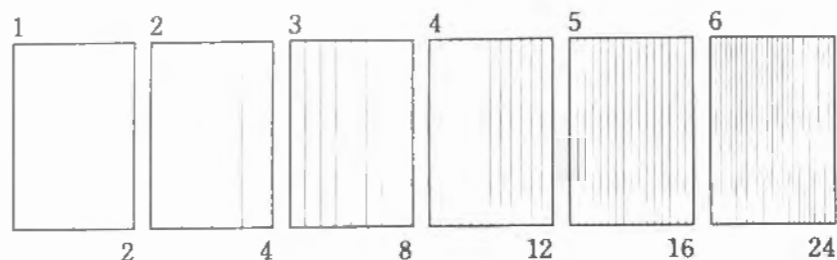


図4.1 実大パネル、写真パネル、画用紙パネルの模式図
パネル左上の数字はパネル番号を、パネル右下の数字はグループによるパネルの分割数を表す。

表4.1 木材色の色画用紙で作製された
呈示用パネルの色彩値

	L^*	a^*	b^*
下地（色画用紙）	81.3	-0.44	20.73
グループ	37.2	4.58	-1.32

を5mm厚の糊付きスチロール板に張って作製した写真パネル（横164mm、縦246mm）である。写真の撮影にあたっては、実大パネルの実際の見え方に近づくように照明条件を工夫した。もう1種類は、木材色の色画用紙（PANTONE Color Paper 468U）に黒色の水性ボールペンでグループを描いて作製した画用紙パネルである。画用紙パネルの寸法は写真パネルと同一であり、また写真パネルと同じ間隔でグループが現れている。この画用紙パネルの作製には3.6で述べたXYプロッタ（岩崎通信機SR-6620）を用いた。口絵2に実大パネルの大きさと比較した写真パネルおよび画用紙パネルの例を示す。また、木材色の色画用紙と黒色のグループの色彩値を表4.1に示す。色彩の測定は測色色差計（日本電色工業Z-1001DP型、測定孔径6mm）で行った。

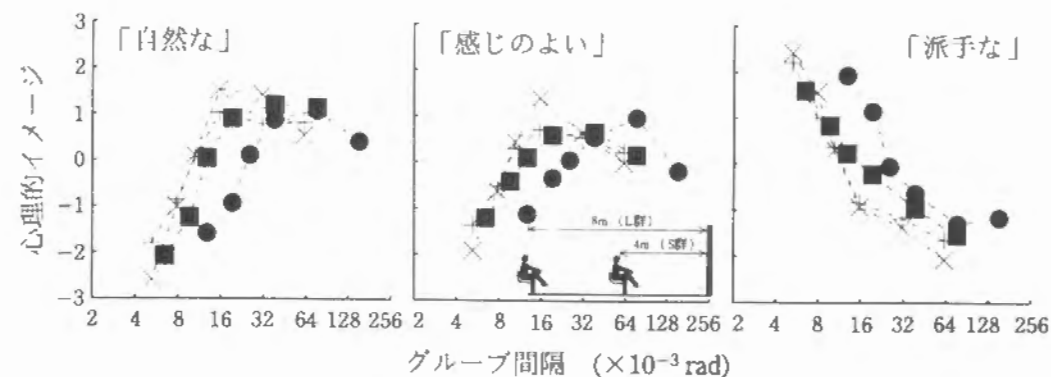


図4.2 実大パネル、写真パネル、画用紙パネルにおけるグループ間隔とイメージの関係

●：実大パネル（S群）、■：実大パネル（L群）、+：写真パネル、×：画用紙パネル

写真パネル、画用紙パネルとも、イメージ調査は一対比較法で行った。被験者は22名の男女学生で、パネルの平均観察距離を135cmに設定した。

4.1.2 結果および考察

1) 「自然な」「感じのよい」イメージと「派手な」イメージの比較

グループ間隔の大小と「自然な」「感じのよい」「派手な」イメージの関係を図4.2に示す。この図においてグループ間隔は網膜上での開き角、すなわちパネルの観察距離における視角値（view angle）で表されている。視角値は網膜上に写った対象物の大きさを角度（ラディアン）で表したものであり、観察距離と対象物大きさの逆正接から求めることができる。この図から明らかなように、「自然な」「感じのよい」イメージと「派手な」イメージではプロットの傾向が異なる。ここでは、両者の比較を行う。

「派手な」イメージでは、間隔が狭くなってグループの密度が大きくなるほど「派手」となるという直線的な関係が認められる（相関係数-0.90以上）。次節で示される事例で

も同様であり、視覚パターンの見た目の「派手さ」はグループの密度のような視覚物理量に対して直線的に変化しやすい。

一方、「自然な」「感じのよい」イメージのプロットはいずれも上に凸となっており、これらのイメージに最適な視角値が存在することがわかる。「自然さ」「感じのよさ」のように「嗜好」や「評価」の要素を含むイメージでは、「派手な」イメージのように視覚物理量と単純な直線関係を示すことは稀であり、ある特定の値で最もイメージが強く（あるいは弱く）なる傾向が現れやすい。したがって、「自然な」「感じのよい」などのイメージと視覚物理量の関係を調べる場合には、それらのイメージの最適値がどのくらいに注目することが重要となる。

2) 観察距離の影響

そこで図 4.2 において、「自然な」「感じのよい」イメージの最適グループ間隔の視角値を観察距離 4m の S 群と観察距離 8m の L 群で比較してみると、前者は約 75×10^{-3} rad、後者は約 38×10^{-3} rad であり、両者は一致しない。このことは最適グループ間隔が特定の視角値で決まるものではないことを示唆している。

一方、S 群および L 群において、最も「自然な」「感じのよい」イメージの強いパネルは、ともにグループによって 4 分割されたパネルである（図 4.1 のパネル番号 2）。ここでグループによるパネルの分割数 D は、パネルの横寸法を H 、縦寸法を V 、底辺に垂直なグループの間隔を W とするとき、

$$D = H / W \quad (4-1)$$

で表すことができる。この値と「自然な」「感じのよい」イメージの関係を示したのが図 4.3 である。この図において、S 群、L 群ともに 4～8 分割に「自然さ」および「感じのよさ」のピークが現れており、しかも、双方のプロットに大きな差は見られない。

このような結果が得られたことの理由として、同じものを遠くから見ても近くから見てもその大まかな印象、すなわち「低空間周波数成分の見え方」には大きな違いはないとい

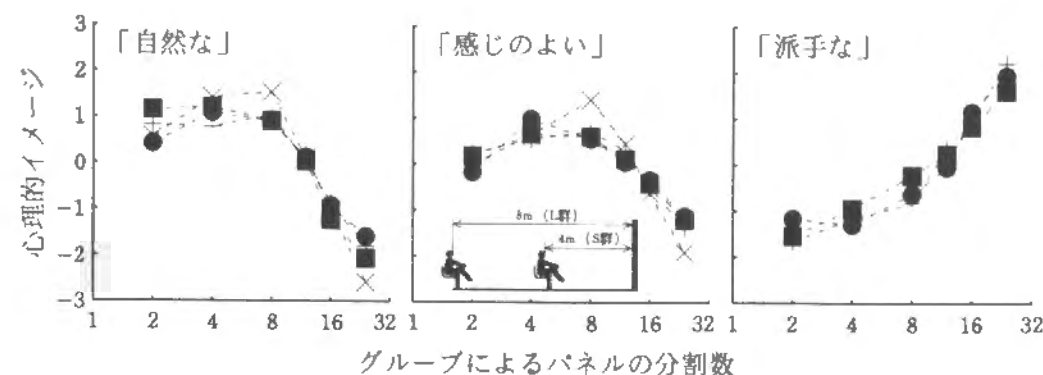


図4.3 実大パネル、写真パネル、画用紙パネルにおけるグループによるパネルの分割数とイメージの関係

●：実大パネル（S群）、■：実大パネル（L群）、＋：写真パネル、×：画用紙パネル

う視覚の恒常性の影響があげられる。この恒常性のために、網膜上でのグループ間隔の大小よりも、パネルがグループによってどのように分割されているかという図象的な特徴の方が、木質壁面パネルの「自然さ」や「感じのよさ」に効くことになると考えられる。

3) 実大パネルとミニチュアパネルの比較

上で述べたことは、実大パネルとミニチュアパネルを比較することにより一層はっきりする。横軸にグループ間隔の視角値を用いた図 4.2 において、写真パネルと画用紙パネルの「自然な」「感じのよい」イメージのピークは実大パネルのピーク位置から大きくずれたところに現れている。このことも上と同様に、最適グループ間隔がある特定の視角値で決まるのではないことを意味している。

また、グループによるパネルの分割数とイメージの関係を表した図 4.3 では、写真パネルのプロットが実大パネル（S 群、L 群）のプロットとほぼ重なっていることがわかる。画用紙パネルでは、「感じのよい」イメージの分割数 8 に突出したピークが現れているものの、基本的には実大パネルや写真パネルのプロットと同様であると考えられる。すなわ

ち、グループによるパネルの分割数とイメージの関係は呈示用パネルの寸法の相違にも影響されにくいのである。

4) 壁面パネルの図象性と最適グループ間隔

以上の比較・検討から、「自然な」「感じのよい」イメージを強く与える木質壁面パネルのグループ間隔は、網膜上における視角値という絶対的な大きさで決まるものではなく、むしろ、そのパネルがグループで何分割されているかという図象的な特徴によって相対的に決まるものであると推察される。この場合、図4.3から明らかなように、実大パネルとミニチュアパネルの結果に大きな相違はない。つまり、最適グループ間隔がその図象性にしたがって決まる以上、視覚的寸法効果の影響はほとんど無視できるのである。このことは、実大パネルをわざわざ用いなくても1/50程度のミニチュアパネルを用いてイメージ調査を行えば、実大パネルを用いた場合と同様の結果が得られることを意味している。また、画用紙パネルのような非常に簡略化された呈示用パネルを用いても、グループ間隔とイメージの関係を調べることは十分可能である。

これらの知見に基づき、以下で行う木質壁面パネルのイメージ調査では、第3章で述べたコンピュータ・グラフィックス技法を応用して種々のミニチュアパネルを作製し、呈示用パネルとして用いることにした。

4.2 グループの太さの変化とイメージ

前節において、「自然な」「感じのよい」イメージに最適なグループ間隔には、観察距離や呈示用パネルの寸法に左右されにくい最適値があることを示した。ここではその最適間隔がグループの太さの変化にどのように影響されるかについて検討する。

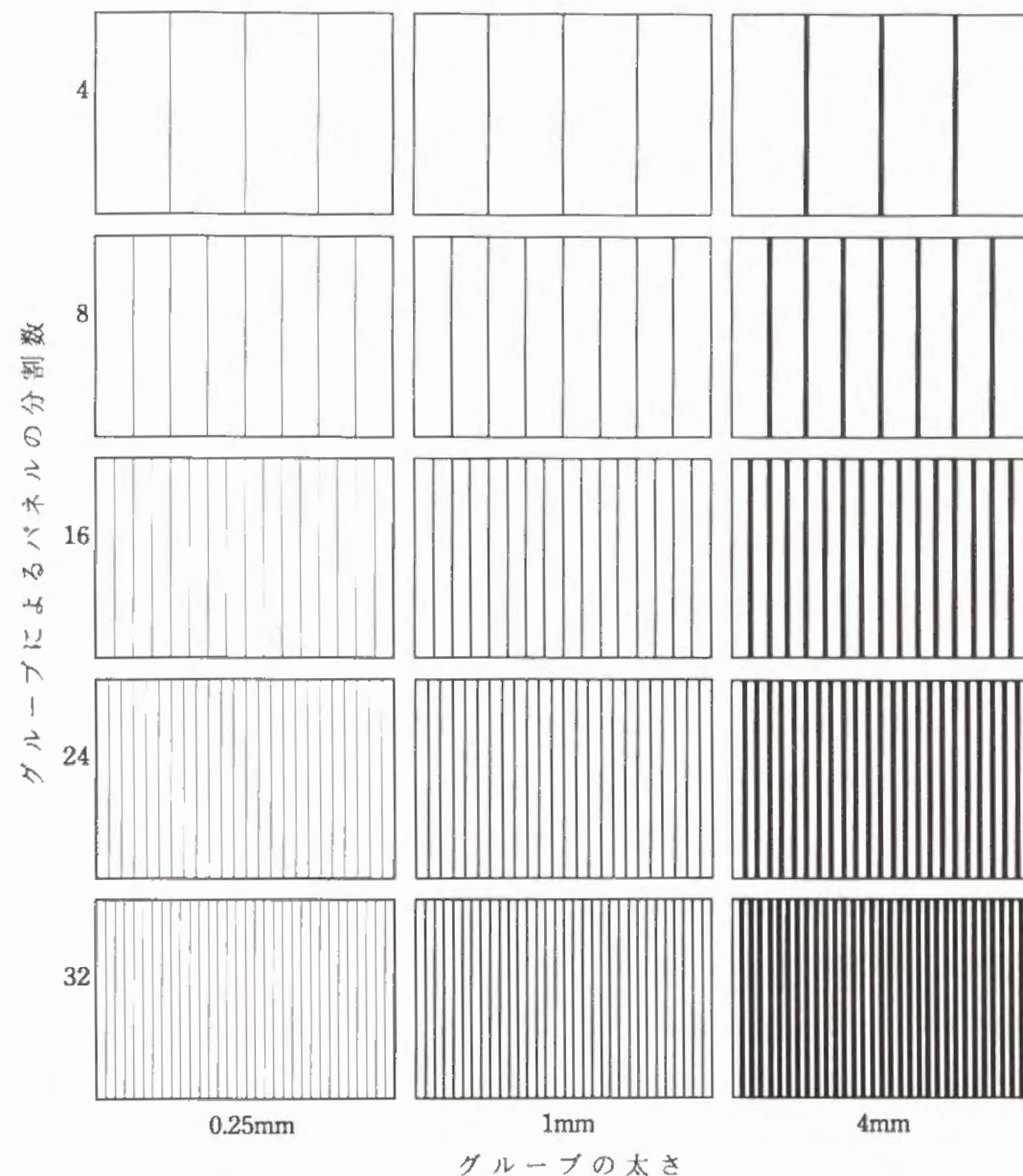


図4.4 グループの太さおよびグループによるパネルの分割数が異なる呈示用パネルの模式図
(他に、グループの太さ0.5mm、2mmのパネルも作製した)

4.2.1 実験方法

グループの間隔および太さが様々に異なる木質壁面パネル画像を、3.6で述べたようにXYプロッタ（岩崎通信機SR-6620）を用いて作製した。すなわち、木材色の色画用紙（PANTONE Color Paper 468U）に水性黒色ボールペンでグループを描き、これを5mm厚の糊付きスチロールに貼って呈示用パネルに仕上げたのである。したがって、実際の木質壁面に現れている木目や濃淡などは無視されている。パネルの寸法は横216mm×縦144mmであった。作製した25枚の呈示用パネルのうちの15枚の模式図を図4.4に示す。また、木材色の色画用紙および水性ボールペンで描かれたグループの色彩値は表4.1のとおりである。

図4.4からわかるように、グループは全て等間隔である。この間隔を表す量として、先述のグループによるパネルの分割数を用いることにする。この分割数の変化には4, 8, 16, 24, 32の5段階を設定した。また、グループの太さの変化には実測値で0.25, 0.5, 1, 2, 4mmの5段階を設定した。そして、「グループの太さが一定で分割数が5段階に変化する5系列」と、「分割数が一定でグループの太さが5段階に変化する2系列」の計7系列について、イメージ調査を行った。

イメージ調査は一対比較法で行った。被験者は35名の男女学生であった。また、呈示用パネルの平均観察距離は135cmであった。

4.2.2 結果および考察

図4.5に、グループによるパネルの分割数と「自然な」「感じのよい」「派手な」イメージの関係を示す。また、図4.6に、グループの太さと「自然な」「感じのよい」「派手な」イメージの関係を示す。

まず「派手な」イメージであるが、図4.5より、見た目の「派手さ」は、グループの太さによらず、パネルの分割数つまりグループの本数と明確な正の相関関係にあることがわ

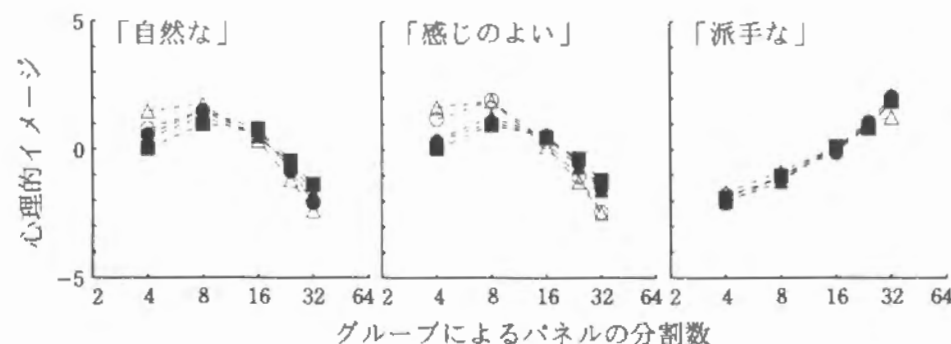


図4.5 グループによるパネルの分割数とイメージの関係

●：グループ太さ0.25mm，■：0.5mm，▲：1mm，
○：2mm，△：4mm

かる（相関係数0.97以上）。グループの本数が増えて明暗変化の頻度が増えることが「派手な」イメージに強く影響するといえる。

図4.6においても、「派手な」イメージはグループの太さと高い正の相関を示している（相関係数0.99以上）。これには二つの理由が考えられる。一つは、グループが太くなるにつれてグループとフリッチ部の明暗対比（コントラスト）が大きくなっていくことである。4分割のパネルの「派手さ」がグループが太くなるにつれて強くなるのは主にこの効果であると考えられる。もう一つは、グループが太くなるにつれてグループとフリッチの面積比が1に近づき、チラツキが生じることである。この効果は特に24分割のパネルにおいて生じていたと思われる。本研究ではパターン「派手さ」についてこれ以上の検討は行わないが、例えば今井ら⁵⁸⁾は、縞パターンの明度コントラストが大きくなるほどその「派手な」イメージが強くなること、コントラストが同じであれば縞幅比（図と地の比率）が1に近づくほど「派手な」イメージを与えることを見いだしている。

一方、「自然な」「感じのよい」イメージでは、図4.5においても図4.6においても、「派手な」イメージのような単純な直線関係は認められない。分割数とイメージの関係を表した図4.5では、5つの系列のいずれにおいても分割数8に「自然さ」や「感じのよさ」

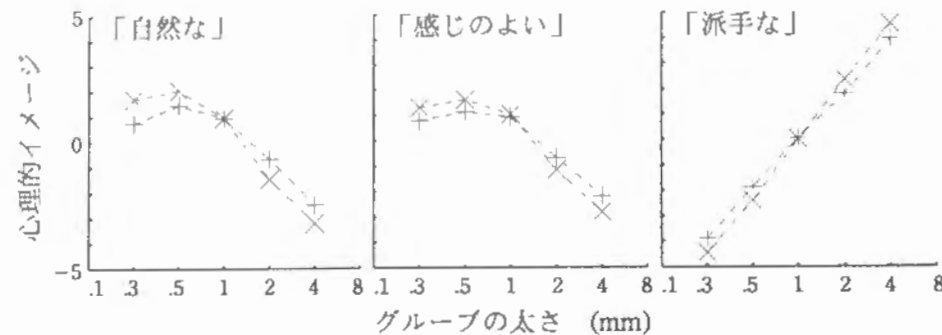


図4.6 グループの太さとイメージの関係
+ : グループによるパネルの分割数4, × : 24分割

のピークが現れている。すなわち、パネルを8等分するような間隔が最も「自然」で「感じのよい」イメージを与えるグループ間隔であり、この最適分割数はグループの太さの変化の影響を受けないことがわかる。

グループの太さの変化と「自然な」「感じのよい」イメージの関係（図4.6）においても、グループ太さ0.5mmでそれらのイメージが最も強くなる傾向が現れている。ただし、このピークはそれほど明確なものではないので、0.5mmを最適太さとするよりも、むしろ、グループの太さが0.25～1mmであれば、「自然な」「感じのよい」イメージを与え得ると考えるのが妥当であろう。この値は平均観察距離135cmにおける視角に換算すると $1.9 \sim 7.4 \times 10^{-4}$ rad、パネルの横幅に対する比で表すと $1.2 \sim 4.6 \times 10^{-3}$ である。それ以上の太さ（2mm以上）ではこれらのイメージを与えにくくなるが、これはグループがもはや「線」というよりも、周囲との明度対比（コントラスト）の大きい黒色の「帯」として見え、視覚的に好まれないためと考えられる。グループの色が黒色ではなく、材色と調和する色彩の帯ならば、「自然」で「感じのよい」イメージを与え得る可能性もある。例えば、木材色と有彩色の2色の縞パターンではその色差が小さい方が「感じのよい」イメージを与えやすいという、今井ら⁵⁸⁾の報告がある。

ここで得られたグループは線として見える方が「自然」であるという知見を活かして、

以下においてXYプロットを用いて木質壁面パネル画像を作製する際には、グループの太さを0.25mmとすることにした。

4.3 グループの傾斜角度の変化とイメージ

壁体は床に対して垂直（90度）あるいは水平（0度）に板材を張ることで構成されることが圧倒的に多いが、斜め張りの壁面も存在する。この節ではグループの傾斜角度とイメージの関係について検討する。

4.3.1 実験方法

グループの傾斜角度が段階的に異なる木質壁面パネル画像を、4.2.1と同様にして、XYプロットと木材色の色画用紙を用いて作製した。呈示用パネルの寸法は横216mm×縦144mmで、傾斜角度にはパネルの底辺から反時計回りに0, 5, 20, 33.7, 45, 60, 85, 90度の8段階を設定した。33.7°はパネルの対角線が底辺となす角度に相当する。グループの間隔は実測値で9mmの等間隔とした。図4.7にこれら呈示用パネルの模式図を示す。

イメージ調査は4.1.1と同じ男女学生35名に対して、一対比較法で行った。また、パネルの観察距離は135cmに設定した。

4.3.2 結果および考察

図4.8はグループの傾斜角度と、「安定した」「斬新な」「感じのよい」「自然な」イメージとの関係である。

当然のことながら0°, 90°が最も「安定した」イメージを与える。「自然な」イメ

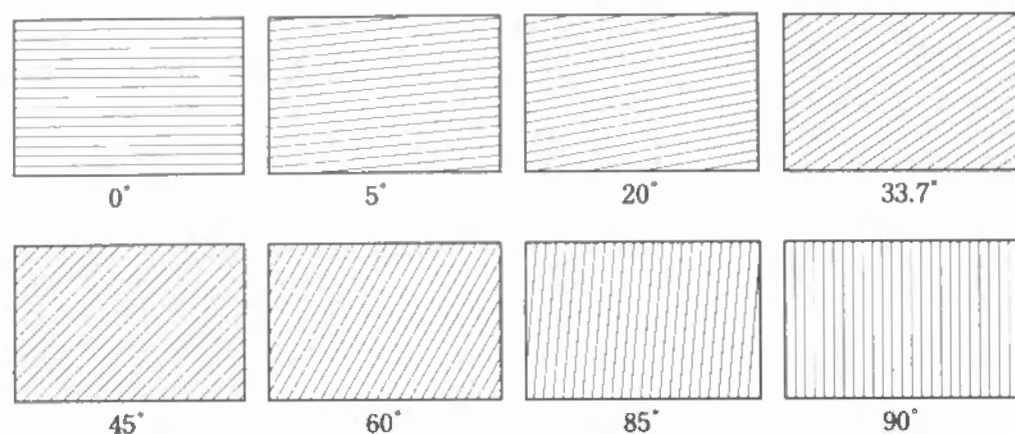


図4.7 グループの傾斜角度の異なる呈示用パネルの模式図

ージも「安定した」イメージと同様の傾向にある（相関係数 0.92）。グループが水平あるいは鉛直なパネルが「自然な」イメージを強く与えるのは、日常の壁面で見られるグループのほとんどがこのタイプであり、見慣れていることの影響が大きいと考えられる。

一方、「斬新な」イメージは「安定した」イメージと正反対の傾向を示す（相関係数 -0.96）。水平、鉛直からわずかに傾いた角度 5°、85° は特に「不安定」で「不自然な」イメージを与えている。流行商品を扱うため「斬新な」イメージを打ち出す必要のある店舗などでは、このような微妙な傾斜のグループが壁面に現れていると、その店舗のイメージにふさわしい空間を演出できる可能性がある。

図 4.8 から明らかなように、「感じのよい」イメージを特に強く与える最適グループ角度の明確なピークはない。しかし、「自然」で「安定した」イメージを強く与える 0° や 90° のパネルが他の角度に比べて特に「感じのよい」イメージを与えるわけではないことは注目に値する。空間を有効に利用するための屋根裏部屋などでは、壁面の形そのものが三角形あるいは台形の斜めの辺を持っている。このような空間においては、壁面の斜辺とグループの傾斜角度の相互関係が「感じのよい」イメージに影響してくることも予想され、今後検討すべき課題といえる。

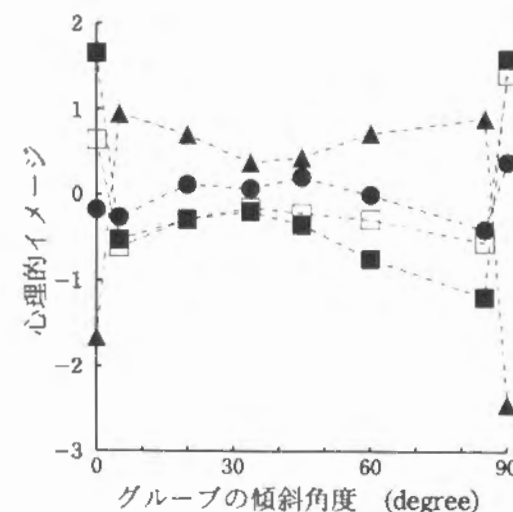


図4.8 グループの傾斜角度とイメージの関係

■：安定した，●：感じのよい，
□：自然な，▲：斬新な

ここで得られた 90° のグループが「自然な」イメージが最も強かったという結果を活かして、以下で作製する壁面パネルではグループをパネルの底辺に対して垂直に入れることにした。

4.4 辺比の異なるパネルの最適グループ間隔

4.1 において、「自然な」「感じのよい」イメージを強く与えるグループ間隔は網膜上での絶対的な視角値で決まるというよりも、そのパネルがグループで何分割されているかという図象的な特徴によって相対的に決まる傾向にあることを示した。ただし一方で、この最適分割数に何らかの普遍性があるのかという新たな問題も生じる。事実、4.1 で用い

た呈示用パネルでは、「自然な」「感じのよい」イメージの最適分割数は4程度であったのに対し、4.2で用いたパネルの最適分割数は8であった。

この不一致の大きな理由として考えられるのは呈示用パネルの形の違いである。すなわち、パネルの横寸法を H 、縦寸法を V 、また底辺に垂直なグループの間隔を W で表すとき、4.1の呈示用パネルの辺比は $H:V=2:3$ であるのに対し、4.2のパネルの辺比は $H:V=3:2$ である。パネルの図象的な特徴がイメージにどのように影響するのかより詳細に検討するためにも、壁面パネルの形と最適グループ間隔の関係を調べておく必要がある。

そこでこの節では、面積一定($HV = \text{const.}$)で $H:V$ の辺比を様々に変えた木質壁面パネルを用意し、各辺比における D や W と、パネルの「自然さ」や「感じのよさ」との関係について検討する。

4.4.1 実験方法

パネルの縦横の辺比がそれぞれ異なる5系列の木質壁面パネル画像を、4.2.1と同様にして、XYプロッタと木材色の色画用紙を用いて作製した。図4.9はその模式図である。各系列のパネル寸法を $H:V$ の辺比で表すと、 $4:1=352\text{mm}:88\text{mm}$ 、 $2:1=248\text{mm}:124\text{mm}$ 、 $3:2=216\text{mm}:144\text{mm}$ 、 $1:1=174\text{mm}:174\text{mm}$ 、 $1:2=124\text{mm}:248\text{mm}$ である。したがって、定数として設定されているパネルの面積は 300cm^2 である。それぞれの系列はグループによって等間隔に4, 8, 16, 24, 32分割された5枚のパネルから構成される。

イメージ調査は各系列ごとに一対比較法で行った。被験者はパネルの平均観察距離は135cmとした。被験者は35名の男女学生であった。

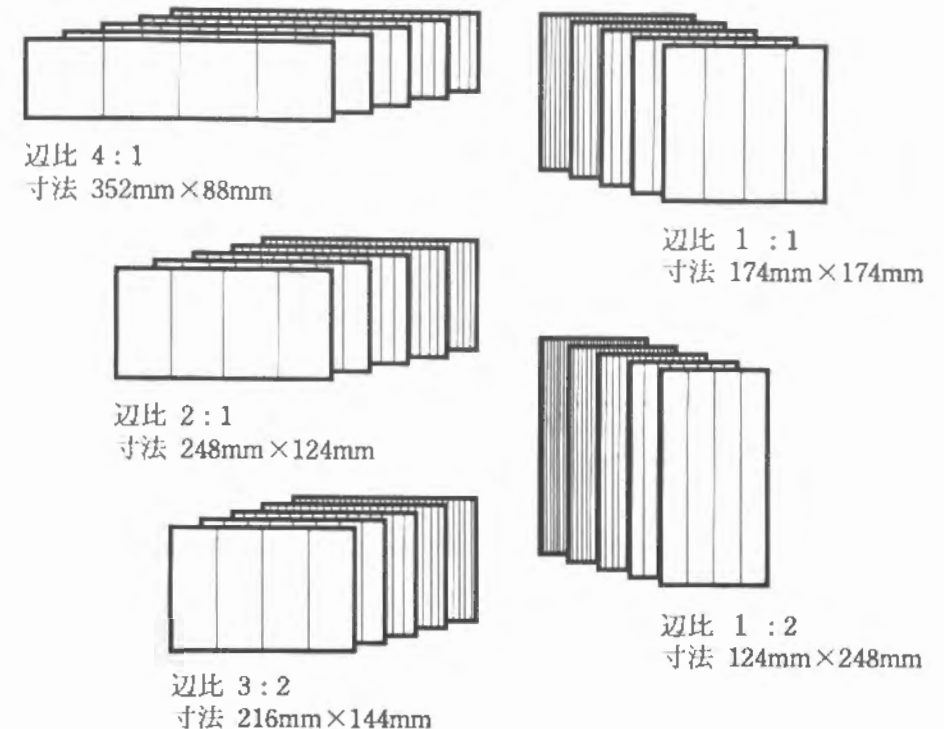


図4.9 辺比が異なる呈示用パネルの模式図
パネルの面積はいずれも約 300cm^2 。
グループによるパネルの分割数は4, 8, 16, 24, 32の5段階。

4.4.2 結果および考察

1) 最適分割数の変化

図4.10に、 $H:V=4:1, 3:2, 1:2$ の3系統における、グループによるパネルの分割数 D と「自然な」および「感じのよい」イメージの関係を示す。パネルの辺比の変化に伴って、「自然な」「感じのよい」イメージの各プロットのピークの位置が移動していることがわかる。すなわち、最も横長($H:V=4:1$)なパネルの系列では $D=16$ 付近に「自然さ」や「感じのよさ」のピークがあるが、パネルの形状が縦長になるにつれて、分割数の少ない方へピークが移動する傾向が認められる。この傾向は「感じのよい」イメージにおいて特に顕著である。

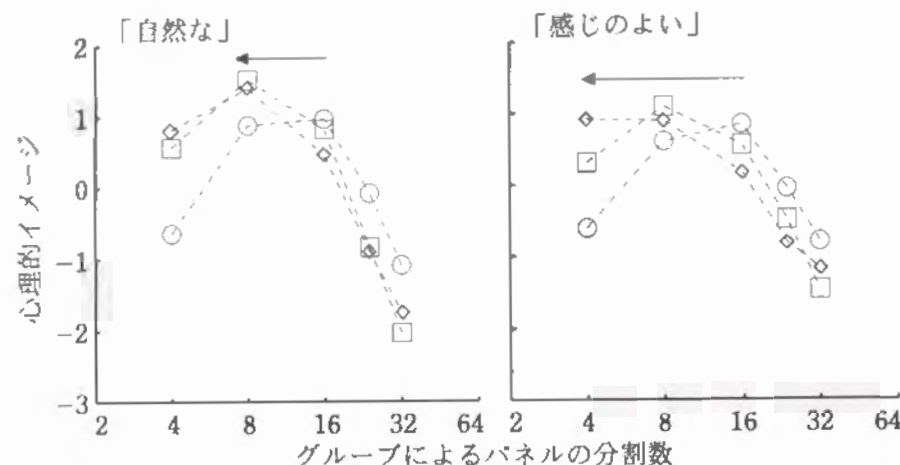


図4.10 パネルの辺比の変化に伴う分割数のピークの移動
○: $H:V = 4:1$, □: $H:V = 3:2$, ◇: $H:V = 1:2$

このように、グループによるパネルの分割数の最適値は普遍的な値ではなく、ある一定のグループ間隔を常に確保できるように、パネルの形の変化に伴って変化するのである。

2) 最適グループ間隔

そこで、どのくらいのグループ間隔を保持すれば、「自然」で「感じのよい」イメージを与えることになるのか示したのが図4.11である。この図は図4.10の横軸をグループ間隔 W に換えたものであるが、図4.2と同様に視角値で表してある。図4.11において、辺比ごとに微妙に異なっているものの、「自然な」および「感じのよい」イメージのピーク（最適値）の位置は一カ所に集中する傾向にある。つまり、辺比の変化が最適グループ間隔の視角値に与える影響は比較的小さい。

5種類の辺比に共通するピークの位置を求めるために、プロットされているデータについて放物線による回帰計算を行ったところ、「自然な」イメージでは $21 \times 10^{-3} \text{ rad}$ 、「感じのよい」イメージでは $20 \times 10^{-3} \text{ rad}$ となった。すなわち、最も「自然」で「感じ

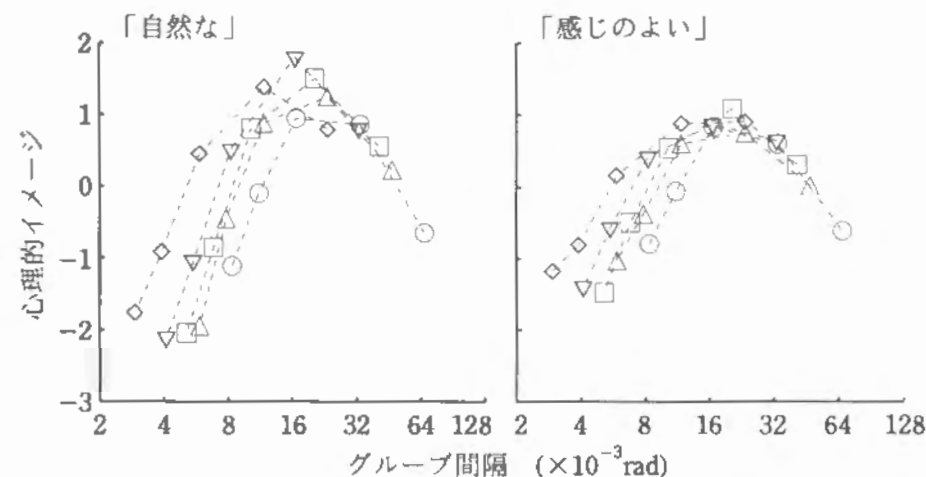


図4.11 辺比の異なるパネルにおけるグループ間隔と「自然な」「感じのよい」イメージの関係
○: $H:V = 4:1$, △: $H:V = 2:1$, □: $H:V = 3:2$,
▽: $H:V = 1:1$, ◇: $H:V = 1:4$

のよい」グループ間隔の最適視角値は約 $20 \times 10^{-3} \text{ rad}$ である。

ただし、この最適視角値には観察距離のファクターが考慮されていないことに注意しなくてはならない。あるパネルを遠くから見る場合、また近くから見る場合に、最適視角値がここで得られた $20 \times 10^{-3} \text{ rad}$ のような一定値とならないのは、4.1で明らかにしたとおりである。

3) 相対分割数と最適グループ間隔

木質壁面パネルの「自然な」「感じのよい」イメージにはパネルの図象的な特徴が大きく寄与するという観点から、グループによるパネルの分割数 D というパラメータとイメージの関係をこれまで検討してきた。ところが、この分割数は壁面パネルの横寸法 H をグループ間隔 W で除しただけの数値であり、すなわち(4-1)式にはパネルの縦寸法 V が盛り込まれていないのである。上で見てきたようにパネルの辺比の変化に伴って最適分割

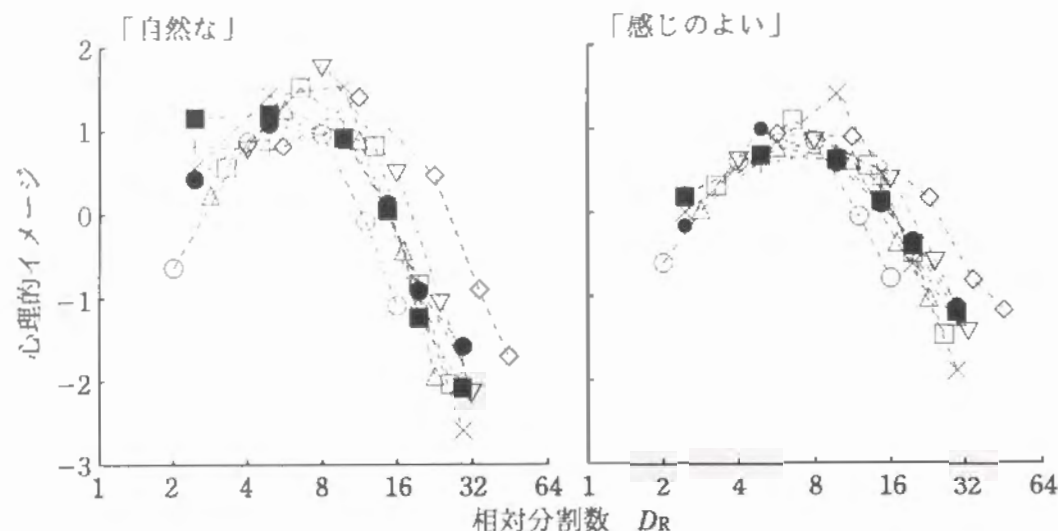


図4.12 相対分割数と「自然な」「感じのよい」イメージの関係

- : 352mm×88mm (H : V = 4 : 1), △ : 248mm×124mm (H : V = 2 : 1),
- : 216mm×144mm (H : V = 3 : 2), ▽ : 176mm×176mm (H : V = 1 : 1),
- ◇ : 124mm×248mm (H : V = 1 : 2),
- : 120cm×180cm (H : V = 2 : 3) 実大パネル (S群),
- : 120cm×180cm (H : V = 2 : 3) 実大パネル (L群),
- ＋ : 164mm×246mm (H : V = 2 : 3) 写真パネル,
- × : 164mm×246mm (H : V = 2 : 3) 画用紙パネル

数が変化してしまったのもこのためであろう。そこで、(4-1)式を拡張してパネルの形を反映できるようにすれば、パネルがグループによってどのように分割されているかを、それぞれのパネルに即してより詳細に表すことができると考えられる。

ここに相対分割数 D_R を次式のように定義する。

$$D_R = \sqrt{HV} / W \quad (4-2)$$

この式の右辺の平方根は壁面パネルの幾何平均的な寸法を表している。例えば、辺比の異なる5系列のパネルの面積はいずれも 300cm^2 であるので、その幾何辺長は約 17.3cm で

ある。

相対分割数 D_R が何を表す数値であるかについて、一つの例をあげよう。横寸法 H およびグループ間隔 W は同じであるが、縦寸法 V_A , V_B が異なる2枚のパネル A, B を考える ($V_A > V_B$)。 (4-1) 式の分割数 D はパネル A とパネル B で当然等しい。一方、(4-2) 式の相対分割数 D_R は、 $\sqrt{V_A H} > \sqrt{V_B H}$ なので、パネル A の方が大きい。つまり、パネル B よりも縦長なパネル A の方が、グループ間隔で同じあっても相対的に密に見えることが示唆されるのである。

図4.12に、辺比の異なる5系列のパネル、実大パネルのS群、L群、写真パネルおよび画用紙パネル全てについて、相対分割数と「自然な」「感じのよい」イメージの関係を示した。全体的な傾向として6～10分割に「自然さ」や「感じのよさ」のピークが集中しており、この付近に相対分割数の最適値 D_{Ropt} が存在することを示している。すなわち、

$$D_{Ropt} = 6 \sim 10 \quad (4-3)$$

である。言い換えると、(4-3)式を満たすグループ間隔の壁面パネルは、観察距離やパネルの辺比に関わらず、「自然な」「感じのよい」イメージを与えることになるのである。

(4-3)式の相対分割数の最適値は、呈示用パネルの外形を視覚フレーム(枠)としてとらえた場合の値である。実際の木質壁面に(4-2)式を適用するには、どこにどのように視覚フレームを設定するかが問題となる。例えば、横一面に同じパネルが並んだ合間合間に枠材が入っているようなときには、この枠材を視覚フレームとみなすことができるであろう。しかし、対象が大きいためにその一部しか見えていないような場合にはどうするかなど、検討すべき点も多い。

4.5 有節壁面パネルにおける最適グループ間隔

わが国における木材に対する「無節信仰」には依然として根強いものがある。しかし、最近では有節材を「自然な」「野性的な」「素朴な」イメージを与えるインテリア材料としてとらえ、そのようなイメージに似合う住空間に積極的に用いた例が多数見られるようになった。そこでこの節では、「節」という木材特有の非常に目立つ視覚因子が、「自然な」「感じのよい」イメージの最適グループ間隔にどのような影響を与えるのか、これまでに得られた結果との比較を行いながら検討する。

4.5.1 実験方法

2種類の呈示用パネルを作成してイメージ調査を行った。一つはこれまでと同様、木質壁面パネルを模したものであり、これを壁型パネルと呼ぶことにする（口絵4）。もう一つは、壁型パネルが内装に用いられた住空間を画像表現したもので、これを部屋型パネルと呼ぶことにする（口絵5）。

1) 壁型パネルの作製

パネルに現れている節の数は同じ（90個）でその平均径が大、中、小と異なる3系列、および、平均節径は同じだがパネルに現れている節の数が34個および255個と異なる2系列の、計5系列のパネルを作製した。それぞれの系列はグループ間隔が段階的に異なる6枚のパネルからなる。これらの一部を口絵4に示す。

このような有節壁面パネル画像を作製するために、原木丸太をロータリ・レースで単板切削したときに現れる節をシミュレートして、カラー画像表現するプログラムを作成した。ロータリ切削された材を想定しているので丸節しか現れないことから、節は周囲よりも暗い楕円体として描画した。生節か死節かは考慮しておらず、また、節の心辺材や、節ばかまなどの節周りの特徴は無視した。節の配置、数、形、色などは、コンピュータの擬似一

表4.2 壁体型有節パネルの色彩値

領域	L^*	a^*	b^*
節	37.99~40.66	10.72~10.99	29.48~31.86
周辺	56.78~59.18	1.81~2.14	31.13~33.54
グループ	47.15~49.62	5.29~5.89	32.76~34.94

様乱数を利用して、任意の変動範囲内で変化させた。樹種は、節が周辺部分と明確に区別できる針葉樹材であること以外は特に設定しなかった。画像の解像度の制約のため木目模様は特に表現しなかったが、縦方向に平行に微妙な明暗の変化を付けて木材らしさを強調した。パネルの想定寸法を240cm×150cmに設定したので、これを目安に節径を調節した。想定寸法を設定したのは、次に述べる部屋型パネルとの対応をとり、得られたデータの比較を行いやすくするためである。

画像の写真出力は画像生成用コンピュータに接続されたカラーハードコピー装置（日本無線 VIDEOFIX II）で行った。この写真プリントを5mm厚のスチロールパネルに貼って仕上げられた呈示用パネルの大きさは横15.5cm×縦25cm（ $H:V=5:8$ ）であった。測色色差計（日本電色 Z-1000DP、測定孔径6mm）で測定した呈示用パネルの節部・周辺部の色彩値を表4.2に示す。

2) 部屋型パネルの作製

4.4.2-3)において指摘したように、実際の壁面においては、相対グループ間隔 D_R を算出するのに必要な視覚フレームを設定するのが難しい場合が多い。このような場合に最適グループ間隔がどのくらいになるのか検討しておく必要があるといえる。その一例として、上で述べた壁型パネルが内装に施工された住空間をコンピュータ・グラフィックスで画像表現して、イメージ調査に用いることにした。呈示用パネルの例を口絵5に示す。これらのパネルもカラープリントを糊付きのスチロールパネルに貼って仕上げたもので、横25cm、縦17cmであった。作製したのは、1壁面当たりの節の数（216個）は同じだが

平均的な節径が大, 中, 小と異なる3系列および無節1系列の4系列であった。それぞれにグループ間隔が段階的に異なる5枚のパネルがある。

部屋の想定寸法は, 天井高 240cm, 床面積 360cm × 360cm (8 畳間相当) に設定し, 天井は無地, 床は木質フローリングとした。1 点透視図法によって 3 次元的な奥行き感を表現したが, 視点位置を画面中央 (想定視点高さ 120cm) にしたので, 成人の実生活に比べるとやや低い位置から部屋を見ていることになる。室内の 3 方の壁に無節あるいは有節の種々の木質壁面パネルを張り, 被験者に大きさの手がかりを与えるために椅子と窓を配置した。なお, カラーディスプレイの解像度に限界があるため, 節の表現方法は壁型パネルの場合よりも単純化した。

3) イメージ調査

イメージ調査は壁型パネル, 部屋型パネルともに一対比較法で行った。壁型パネルの被験者は, 34 名の男女学生であった。また, 部屋型パネルの被験者は 19 名の男女学生であった。壁型パネルと部屋型パネルの被験者は女性 2 名が重複しているほかは異なり, それぞれの実施時期もまた異なった。パネルの平均観察距離はいずれも 150cm に設定した。

4.5.2 結果および考察

1) 壁型パネルにおける最適グループ間隔

壁型パネルの想定グループ間隔と「自然な」「感じのよい」イメージの関係を図 4.13 に示す。これまでと同様, 有節材の場合においても「自然な」「感じのよい」イメージはグループ間隔と線形な相関関係になく, 上に凸, すなわち, 最適間隔値を持つことがわかる。しかも, その最適値は, 平均節径の大小や節数の多少の影響を受けにくく, 各系列のプロットの頂点は想定間隔 20cm (実寸法 20mm) 付近に集中する傾向が認められる。節数が非常に多い系列のみ, 想定間隔 20cm でピークダウンしたが, これは一様乱数を用い

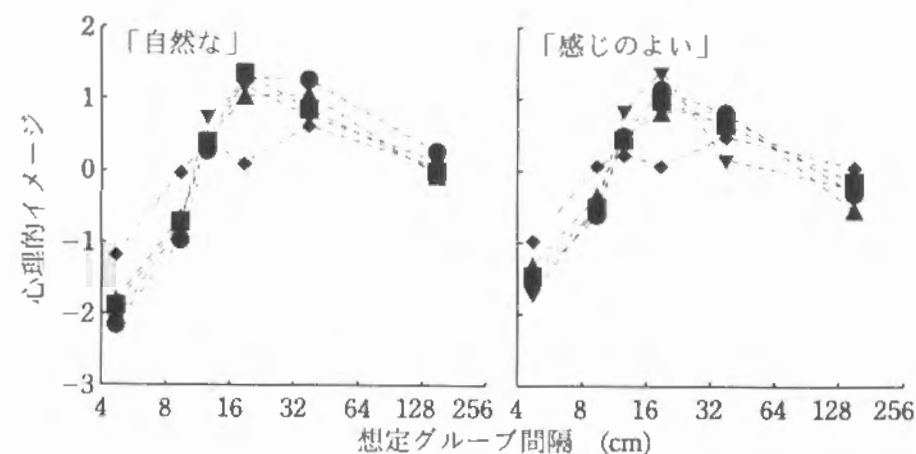


図4.13 壁型パネルにおける想定グループ間隔と「自然な」「感じのよい」イメージの関係

プロット	節径* (最小-平均-最大) (cm)	節の数
●	0.6 - 1.5 - 2.4	90
▲	1.0 - 2.5 - 4.0	90
■	1.7 - 4.2 - 6.7	90
▼	1.0 - 2.5 - 4.0	34
◆	1.0 - 2.5 - 4.0	255

* 想定寸法値

て節の位置を変動させたにも関わらず, 径の大きい目立つ節がたまたま周期的・対称的に配列したことの影響と考えられる。

図 4.13 の横軸を (4-2) 式によって相対分割数に変換したのが図 4.14 である。この図において, 最も「自然な」「感じのよい」イメージを強く与える相対分割数の最適値は (4-3) 式で示した範囲 ($D_{Ropt}=6 \sim 10$) に存在しており, D_{Ropt} は節のような非常に目立つ特徴が現れていてもほとんど影響されないことがわかる。このことは, グループのようなまばらで細い直線格子パターンは, パネルの「自然さ」や「感じのよさ」に大きく影響することを表しており, 有節あるいは無節を問わず, 木質空間をデザインする上で無視することのできないものといえる。

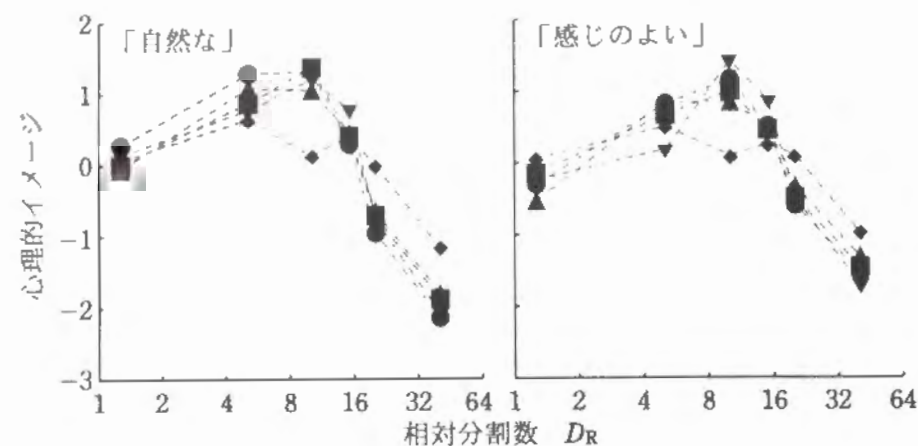


図4.14 壁型パネルにおける相対分割数 D_R と「自然な」「感じのよい」イメージの関係

プロット	節径* (最小-平均-最大) (cm)	節の数
●	0.6 - 1.5 - 2.4	90
▲	1.0 - 2.5 - 4.0	90
■	1.7 - 4.2 - 6.7	90
▼	1.0 - 2.5 - 4.0	34
◆	1.0 - 2.5 - 4.0	255

* 想定寸法値

2) 部屋型パネルにおける最適グループ間隔

部屋型パネルにおける想定グループ間隔と「自然な」「感じのよい」イメージの関係を図 4.15 に示す。各系列のプロットの頂点は壁型パネルの場合と同じ想定間隔 20cm (実寸法 6.5mm) 付近に集中しており、節の有無や節の大きさには影響されにくいことがわかる。ただし、節の平均径が最も大きく、かつ、グループ間隔が最も狭いパネルが、「自然な」「感じのよい」イメージを強く与えているという例外もある。このパネルではグループ間隔よりも設定された節径の方が大きいので、グループによって節が分断されて見かけの節径が小さくなったこと、また、分断された片割れの分だけ節の面積が減少して、パネ

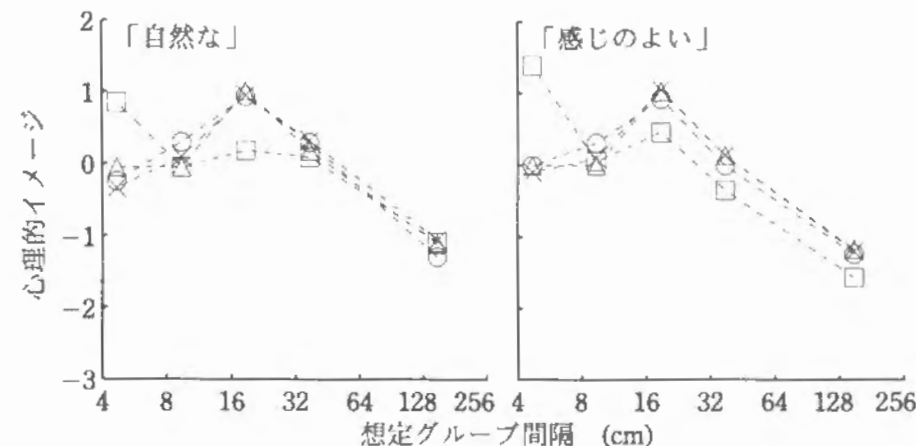


図4.15 部屋型パネルにおける想定グループ間隔と「自然な」「感じのよい」イメージの関係

プロット	節径* (cm) (最小-平均-最大)	1壁面当たり の節の数
×	0	0
○	0.6 - 1.5 - 2.4	216
△	1.0 - 2.5 - 4.0	216
□	1.7 - 4.2 - 6.7	216

* 想定寸法値

ルに占める節の面積率 (節率⁶⁷⁾) が小さくなったことが、「自然さ」や「感じのよさ」につながったと考えられる。

3) 壁型パネルと部屋型パネルの比較

図 4.13 および図 4.15 から明らかなように、「自然な」「感じのよい」イメージを強く与えるグループ間隔は、壁型パネル、部屋型パネルともに想定寸法で約 20cm である。一方、その実寸法は壁型パネルで 20mm、部屋型パネルで 6.5mm であり、平均観察距離 150cm における視角値に換算するとそれぞれ 13.3×10^{-3} rad, 4.3×10^{-3} rad となるので、実寸法においても網膜像においても両者の大きさはかなり異なる。それにも関わらず

想定寸法値で両者が一致したことは、部屋型パネルのように視覚フレームを設定しにくい場合でも、やはり何らかの視覚フレームが暗黙のうちに設定され、これに応じて「自然な」「感じのよい」イメージの最適グループ間隔が判断されることを示唆している。ただし、そのフレームをどこにどのように設定すべきかという問題は依然として残されており、今後の検討課題といえる。

4.6 低周波数視覚刺激としてのグループとイメージ

この章の冒頭において、「グループとは壁面に現れているまばらな格子模様であり、視野内における空間周波数の小さい視覚刺激とみなせる」と述べた。この表現は「グループとは視覚フレーム中に1～20本現れた低周波数視覚刺激である」と言い換えることができる。ここでいう「低周波数」とは、1mのような単位長さを基準として波長の逆数で表される一般的な周波数ではなく、視覚フレームを基準としてフレーム中に何波長分現れているかで表すべきものである。より具体的には、呈示用パネルの横寸法 H あるいは幾何平均長 \sqrt{HV} を基準とするととき1～20周期の視覚情報といえる。

ここで、最適グループ間隔に関する一連の議論を振り返ってみよう。

① 視覚物理量としてまず設定したのはグループ間隔 W の視角値である。実大パネル(120cm×180cm)、および、その1/50で相似形の写真パネルと画用紙パネル(164mm×246mm)を用いたイメージ調査より、「自然な」「感じのよい」イメージの最適グループ間隔はある単一の視角値で定義できるものではないことが明らかになった。

② 一方、パネルの横寸法 H を W で除したグループによるパネルの分割数 D (4-1)

式)の最適値は、パネルの寸法や観察距離を問わず一致した。このことは、網膜上でのグループ間隔の大小よりも、パネルがグループによってどのように分割されているかという図象的な特徴の方が、「自然さ」や「感じのよさ」に大きく影響することを表している。

③ ただし、分割数 D はパネルの形を考慮したものではない。このため、パネルの縦横の辺比が種々異なる壁面パネルのイメージ調査では、「自然な」「感じのよい」イメージにおける D の最適値は辺比によって変化した。そこで、パネルの面積の平方根である幾何平均長(\sqrt{HV})とグループ間隔 W の比である相対分割数 D_R (4-2式)を定義して、「自然な」「感じのよい」イメージとの関係を調べたところ、実大パネル、写真パネル、画用紙パネル、辺比の異なるパネルの全てにおいて、相対分割数6～10に最適値が存在することが明らかになった。

④ 上で得られた相対分割数 D_R の最適値 D_{Ropt} は、有節壁面パネルにおいても矛盾なく適用可能であった。また、有節壁面パネルを施工した部屋のシミュレーション画像のイメージ調査からも、パターン中に何らかの視覚フレームが設定されて、そのフレームに最適な比率でグループ間隔が決まることが示唆された。

どのくらいのグループ間隔が最も「自然」で「感じがよい」かの判断を、我々は対象の大きさや観察距離に関係なく容易に行える。ヒトの視覚メカニズムが何を手がかりにしてその最適間隔を検出しているかについて、一つの合理的な考え方は、何らかの割合を利用しているのではないかというものである。割合は無次元量であり、寸法や距離に影響されにくいという視覚の恒常性を表現するのにも都合がよい。また、黄金比(1:1.6)のような「美しい」比率の存在も、この推論の妥当性を支持するものと考えられる。上で提案した相対分割数 D_R はまさに割合であり、ヒトのイメージ判断において、相対分割数に相当する刺激が利用されている可能性は十分にある。この点においても相対分割数は、グループのよくなまばらな低周波数視覚刺激の視覚特性を記述するのに適した視覚物理量である。

4.7 まとめ

この章では、木質壁面パネルにおける面材と面材の継ぎ目の溝であるグループを壁面パネルに現れた低周波数視覚刺激ととらえ、「自然な」「感じのよい」イメージを強く与えるグループ間隔はどのような法則に則って決まることになるのかを詳細に検討した。その結果、壁面がグループによってどのように分割されているかという図象的な特徴に着目すべきであることを明らかにし、相対分割数という(4-2)式で表されるシンプルな幾何学的関係量によって、「自然な」「感じのよい」イメージの最適グループ間隔が表せることを示した。また、コンピュータ・グラフィックスで作製したミニチュアパネルを用いたイメージ調査からでも、実大パネルを用いた調査と同様の結果が得られることも明らかにした。

グループは壁面に現れた非常に単純な格子模様には過ぎないが、壁面のイメージに多大な影響を及ぼす強力な視覚因子である。木材の視覚特性をよりうまく引き出すためにも、グループは木質空間をデザインする上でいっそう十分に考慮されるべきである。その際、ここで得られた知見が一つの指標となるものと考えられる。また、木質壁面に限らず、あるいはインテリアに限らず、様々な建築デザインにおいて活用することも可能である。

第5章 まさ目パターンの濃淡むらの視覚特性⁵⁹⁾

ここで、フリッチにまさ目板を用いた木質壁面の見え方が観察距離によってどのように変化するか、加藤⁶⁰⁾を参考に考えてみよう。その壁面を8mほど離れたところから見るとき明確に視認できるのはグループのみである。2m程度の距離に近づくと材面の様子がわかるようになる。しかし、1本1本の木理を判別するのは困難であり、むしろもっと周期の大きいゆったりとした滑らかな明暗の変化である「濃淡むら」の方が目につくはずである。さらに近寄ると個々の木理や微細なテクスチャが判別できるようになり、どのようなまさ目板がフリッチに用いられているかがわかる。

この例は、インテリア計画において対象物とそれを見るヒトの距離あるいは視力が重要であることを示したものである。それと同時に、木質壁面をいろいろな距離から見るとき、まず目につくのは、グループや濃淡むらのような視覚フレーム中に1~20周期現れた低周波数成分であることを示唆している。この低周波数視覚刺激に注目するというアイディアは第4章で取り上げたグループだけでなく、様々な視覚パターンに応用できるのである。

第5章では、材面の低周波数視覚刺激といえる「濃淡むら」が、まさ目パターンの「自然さ」や「感じのよさ」にどのような影響を与えるのかについて調べる。濃淡むらは連続的に明暗が変化する木材特有の視覚的な特徴である。グループのようにまばらで不連続に明るさの変化する白か黒の2値的な縞模様ではない。このため、前章のようにパターンの図象性だけでその特徴を定量的に把握することは困難である。そこで画像解析的な手法を駆使して、濃淡むらを数量表現する効果的な方法についても検討する。

5.1 実験方法

5.1.1 呈示用パネルの作製

材面の濃淡むらのみが系統的に変化するまき目パターンを、3.2で述べた画像生成法により作製した。図6は作製した3種類のパターンの例である。Type AおよびType Bは早晚材の移行が表現された針葉樹材的なまき目パターンであり、Type Cは散在する道管が表現された南洋材的なまき目パターンである。パターンの計算には、京都大学大型計算機センターのメインフレーム（富士通 FACOM M780）とパーソナルコンピュータ（日本電気 PC-H98）を用いた。生成したパターンを、写真方式のカラーハードコピー装置（日本無線 VIDEOFIX II）あるいは熱昇華型のカラービデオプリンタ（三菱電機 SCT-CP1000）を用いてB5判程度の大きさに画像出力し、これを5mm厚の糊付きスチロールに貼付して呈示用パネルに仕上げた。呈示用パネルの平均的な色彩値、寸法および年輪数を表5.1に示す。色彩の測定には測色色差計（日本電色 Z-1001DP型、測定孔径30mm）を用いた。表5.1に示された色彩値のうち、Type AおよびType Bの値はエゾマツ、トドマツなどの明るい淡色の針葉樹材や、ミズナラ、クリなどの褐色の広葉樹材に近い⁶⁾¹⁾。必ずしも典型的な針葉樹材の色調、あるいは南洋材の色調となっているわけではないが、いずれも木材色と呼ばれる色の範囲に含まれている。今回は色をイメージ調査の対象としていないので、呈示用パネルの色調はこれらの木材色で十分であると判断した。

5.1.2 イメージ調査

作製したパネルを系統的に分けて、各系列ごとにその視覚イメージを調査した。調査方法には一対比較法および7段階評価法を用いた。

表5.1 呈示用パネルの仕様

		パネルの種別		
		針葉樹材風	南洋材風	
		Type A	Type B	Type C
色彩値	L^*	65.24~68.64	48.06~57.55	62.43~67.60
	a^*	6.19~ 9.57	-0.04~ 2.07	10.93~14.11
	b^*	19.46~22.49	15.64~18.31	28.25~30.07
寸法(cm)	横寸法	16	15	14
	縦寸法	16	24	19
木理の本数		50	100	不可算

一対比較法および7段階評価法いずれの調査法においても、パネルの呈示は照明を整えた室内において、灰色の画用紙（明度5）を背景にして行った。視力が1.0程度の被験者であれば呈示用パネルの特徴を明確に視認でき、かつ、4、5人の被験者が同時にイメージ調査に回答できることを考慮して、パネルの観察距離は135cm~150cmに設定した。被験者は、図6のType Aについては京都大学および岐阜大学の男女学生39名、Type Bについては京都大学公開講座に参加した年齢23歳~62歳の男女20名、またType Cについては京都大学の男女学生28名であった。

5.2 周期性がイメージに与える影響

木理の周期性および濃淡むらの周期性がまき目パターンのイメージにどのような影響を与えるかをまず調査した。正弦波曲線で表現された木理の振幅が相異なる5枚のパネルの系列（図7a）と周波数が相異なる5枚のパネルの系列（図7b）、および、正弦波的に

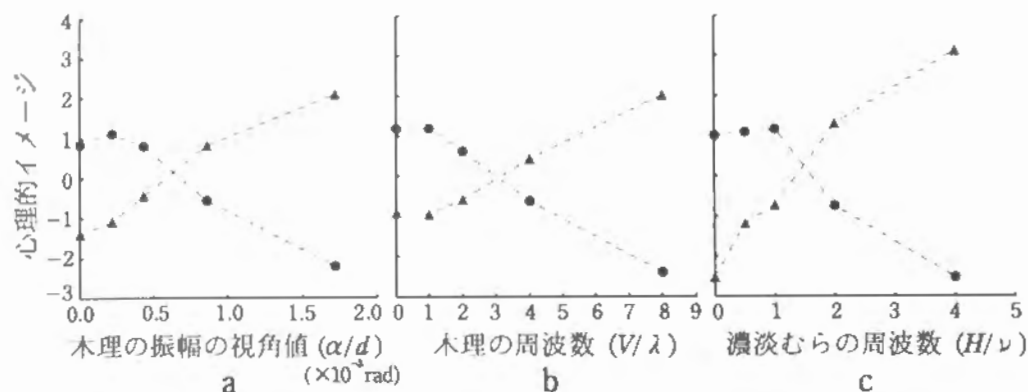


図5.1 木理の振幅と周波数および濃淡むらの周波数と「自然な」「派手な」イメージの関係

●：自然な，▲：派手な

H：パネル横寸法，V：パネル縦寸法 α ：木理の振幅， λ ：木理の波長，

ν ：濃淡むらの波長，d：観察距離

明暗が変化する濃淡むらの周波数が異なる5枚のパネルの系列(口絵7c)を設定した。なお、口絵7aおよびbのパターンには濃淡むらはなく、一方口絵7cのまき目の木理は直線で表現されている。また、木理の間隔はいずれも等間隔とした。

木理の振幅(α)、周波数(V/λ)および濃淡むらの周波数(H/ν)と「自然な」「派手な」イメージの関係を図5.1に示す。図5.1aの横軸は、木理の振幅値(α)のパネルの観察距離(d)における視角値(α/d rad)である。木理の振幅値 0.5×10^{-3} rad、木理および濃淡むらの周波数2という臨界値を越えると、パターンの周期性や規則性が明確に知覚されて、その「自然さ」が著しく損なわれていく傾向が現れている。特に、木理の周波数と濃淡むらの周波数がともに2以上で「自然な」イメージが弱くなることは、パネル縦方向の形の変化と横方向の明暗の変化に共通する「自然さ」の認識処理過程の存在を示唆しており、興味深い。

一方、「派手な」イメージは振幅や周波数と明確な正の相関を示す。中でも、図5.1cの濃淡むらの周波数と「派手な」イメージの直線的な関係は他2者よりも顕著であり、明

暗変化の頻度は見た目の「派手さ」により効くことがわかる。

5.3 濃淡むらの最適明度コントラスト

濃淡むらの基本的な視覚因子として、その明度コントラストとイメージの関係についても検討した。ここでいう明度コントラストとは、パターン中の最明部と最暗部の明度差のことである。規則的な2周期の濃淡むらが付いたパネル(口絵8a)、および、非周期性の濃淡むらの付いたパネル(口絵8b)の2系列を設定した。

ところで、パネルの最明部と最暗部は木理に沿う幅の狭い帯であり、このような領域の平均的な明度を測色計で測定することは難しい。そこで、Munsell Book of Color収録の37枚の無彩色の色片の明度を測色計で測定し、さらにイメージスキャナから入力してそのグレイレベルを求め、グレイレベルから明度値への較正直線を作成した。この較正直線を用いて、パネルの最明部および最暗部のグレイレベルを、Munsell表色系の明度(V, バリュウ)に換算した。

明度コントラスト ΔV と「自然な」および「派手な」イメージの関係を図5.2に示す。「派手な」イメージはコントラストが大きくなるほど強くなる。一方、「自然な」イメージはコントラストと単純な直線関係になく、 $\Delta V=1$ 付近にピークが現れている。この最適明度コントラストは「木目らしい」「感じのよい」イメージなどでも認められた。

パネルの平均明度がより明るい場合あるいは暗い場合にも、濃淡むらの最適明度コントラストが今回と同様に $\Delta V=1$ となるかどうかについては、今後検討する必要がある。ただし、いずれの場合にも最適明度コントラスト値は存在していると考えられ、例えば濃淡変化が激しくて見た目に「派手な」材を、塗装や調色によって「感じのよい」イメージに変える際の指標になるといえる。

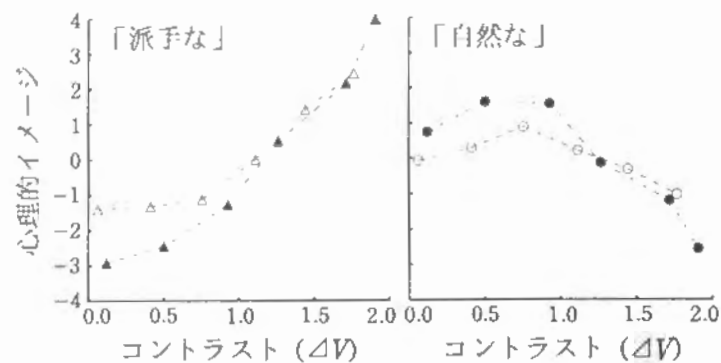


図5.2 明度コントラスト (ΔV) と「自然な」「感じのよい」イメージの関係

○, △: 規則的な濃淡むら ●, ▲: 不規則な濃淡むら

5.4 濃淡むらのFFTパワースペクトル

5.4.1 パワースペクトルとイメージ

5.2 および 5.3 で得られた結果を踏まえて、さらに多くの濃淡むら付きまき目パターンを作製し、それらのイメージ調査を行った。様々な濃淡むらの付いた 14 枚の針葉樹材的なまき目パターン、および、ラワン材的なまき目パターン 22 枚のイメージの調査結果の一部を、口絵 9 および口絵 10 にそれぞれ示す。どちらも「自然な-不自然な」イメージについて 7 段階評価法で調査した結果であり、最も「自然な」および「不自然な」イメージの強かったパネルが 3 枚ずつ示されている。

また、図 5.3 は「自然な-不自然な」イメージと「感じのよい-感じの悪い」イメージの関係であり、図 5.4 は「自然な-不自然な」イメージと「木らしい-木らしくない」イ

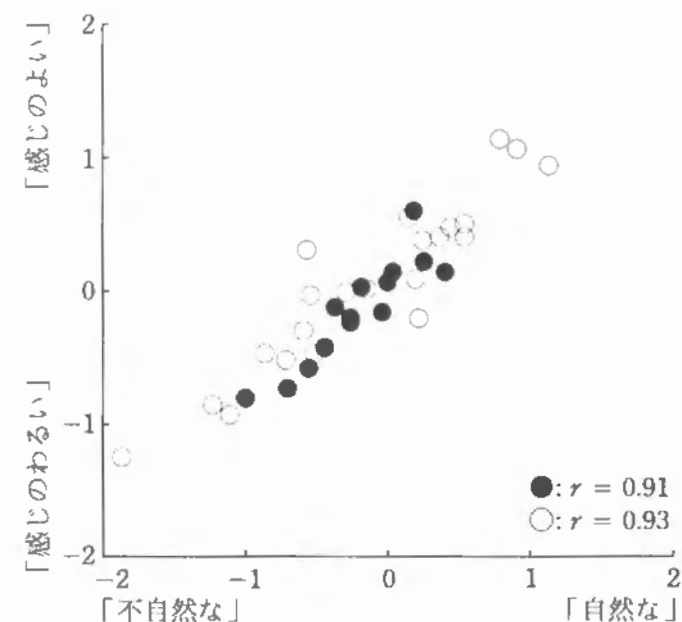


図5.3 「自然な-不自然な」イメージと「感じのよい-感じのわるい」イメージの関係

●: 針葉樹材的なまき目パターン (14パネル)

○: 南洋材的なまき目パターン (22パネル)

メージの関係である。これらの図より、「自然な」パターンは「感じのよい」パターンでもあること、「木らしさ」の強いパターンほど「自然な」イメージが強いことがわかる。

どのような濃淡むらが「自然な」イメージを強く与えるかを、定性的な記述ではなく、定量的に表すためには、濃淡むらそのものを数量表現する必要がある。そのために試みたのが、画像中の周期的な特徴を調べる代表的な手法であるフーリエ変換法である。画像は 2 次元なので、そのフーリエ変換には 2 次元の FFT (Fast Fourier Transform) が用いられることが多い。しかし、本研究におけるまき目パターンには横方向の明暗変化しかないので、1 次元の FFT で十分といえる。そこで、イメージスキャナを用いて各パネルのデジタル画像データを収録し、512 画素で構成される任意の走査線の明暗変化情報 (ライン

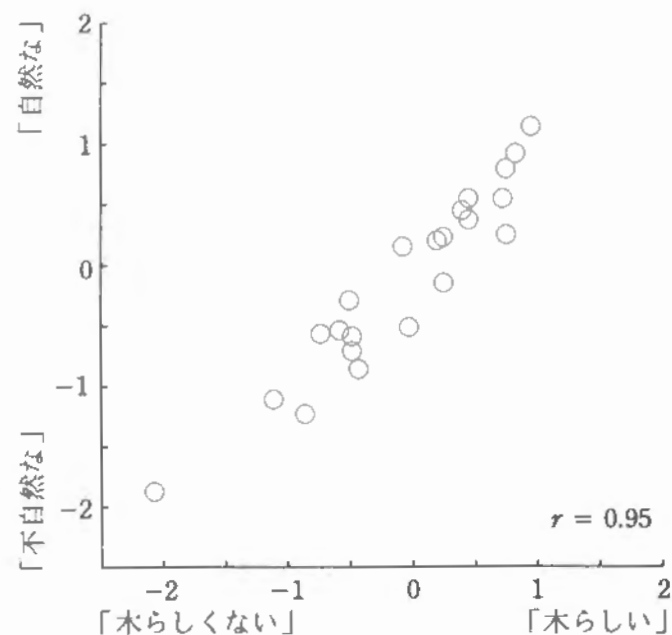


図5.4 「木らしい－木らしくない」イメージと「自然な－不自然な」イメージの関係（南洋材的な22パネルのデータ）

プロフィール)のFFT計算を行って、そのパワースペクトルを求めた。口絵9、口絵10の各パネル上側のグラフは、1画像当たり32本の走査線の平均的なパワースペクトルである。各グラフの横軸は、パネルの横寸法を基準とする周波数である。また、縦軸はスペクトルのパワー密度を表しており、画像の輝度変化の大きさの2乗に対応する。

これらのスペクトルにおいて、濃淡むらの特徴は周波数1～20の比較的周波数の低い領域に反映されている。なお、口絵9の各スペクトルには周波数100付近に鋭いピークが現れているが、これは通直なまき目模様の平均年輪間隔(約2mm)に対応する。口絵10の南洋材的なまき目パターンのスペクトルにはこのようなピークは現れない。

「自然な」イメージのスペクトルに共通するのは、周波数1～20の範囲に、二つ程度のピークあるいはピークほど明瞭ではない肩(ショルダー)が現れていることである。しか

も低周波数側のピークの方が高周波数側のピークよりも必ずパワーが強い。一方、「不自然な」イメージのスペクトルには、このようなピークやショルダーが無く、あるいは、2,3周期の明白な周期性を反映したピークが現れている。

5.4.2 パワースペクトルの問題点

濃淡むらのFFTパワースペクトルから上で述べたような傾向は読み取れるが、以下にあげる三つの大きな問題点がある。

① スペクトルの特徴を数値で表す適当な方法がない

例えば、パワースペクトルの周波数を f とすると、その低周波数部の傾きを $1/f^x$ の x のように表現して、この値をスペクトルの特徴量する手法^{53, 62)}は、単一の数値でスペクトルの特徴を表現するという意味では非常に興味深い。しかし、今回の場合、スペクトルを傾き値で表すと、「自然さ」に効いていると考えられる低周波数部のピークやショルダーの情報を無視してしまうことになる。また、いわゆる「 $1/f$ ゆらぎ」のパターンが「自然」であるという議論は、全ての視覚パターンに当てはまるものではないと考える。

② FFTパワースペクトルは低周波数部の解像度が悪い

ここで用いたFFTはパネルの横寸法を基準波長とする1周期や2周期のような整数周期の周波数成分しか検出できない。このため、0.7周期や1.5周期のような長波長・非整数周期の濃淡むらを抽出できないのである。

③ パワースペクトルは位相の情報を反映しない

フーリエ・パワースペクトルは各周波数成分の強度を示すものであり、位相のデータは

除かれている。このため、見た目の印象が全く異なる二つのパターンのパワースペクトルの形が同一になる可能性がある。

以上の議論から、フーリエ・パワースペクトルをまさ目パターンの濃淡むらの抽出および表現に用いるのは適切ではないと結論した。そこで、パワースペクトル解析などの既存の方法によらない濃淡むらの数量化法を検討した。

5.5 局所的明度コントラストに注目した濃淡むらの数量化

5.5.1 濃淡むらを定量的に取り扱う手法

数量化にあたって、「ヒトは、視覚フレーム中で互いに離れた領域の明暗を見ているのではなく、近接した領域の明暗を見ており、この局所的な明暗変化がイメージに効く。また、フレーム全体に現れている1周期以下の明暗変化の大きなトレンドはイメージに影響しにくい」という仮定を立てた。これはパターンの特徴に即したのではなく、ヒトの視覚情報処理を考慮したものである。そこで、互いに隣接する明るい領域と暗い領域の明度差である局所的な明度コントラスト（局所コントラスト）を使って濃淡むらを表現することを試みた（図5.5）。

まず、呈示用パネルの画像をイメージスキャナからデジタル入力し、任意の走査線の明暗変化を表すラインプロフィール $L(i)$ ($i=1,2,\dots,N$; $0 \leq L(i) \leq 255$) を得る。 N は画素数であり、今回は $N=512$ である。 $L(i)$ に次式のような平滑化処理を施し、平滑化ラインプロフィール $L'(i)$ を得る。

$$L'(i) = \sum_{i'=-\sigma}^{i'+\sigma} \frac{L(i')}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(i'-i)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5-1)$$

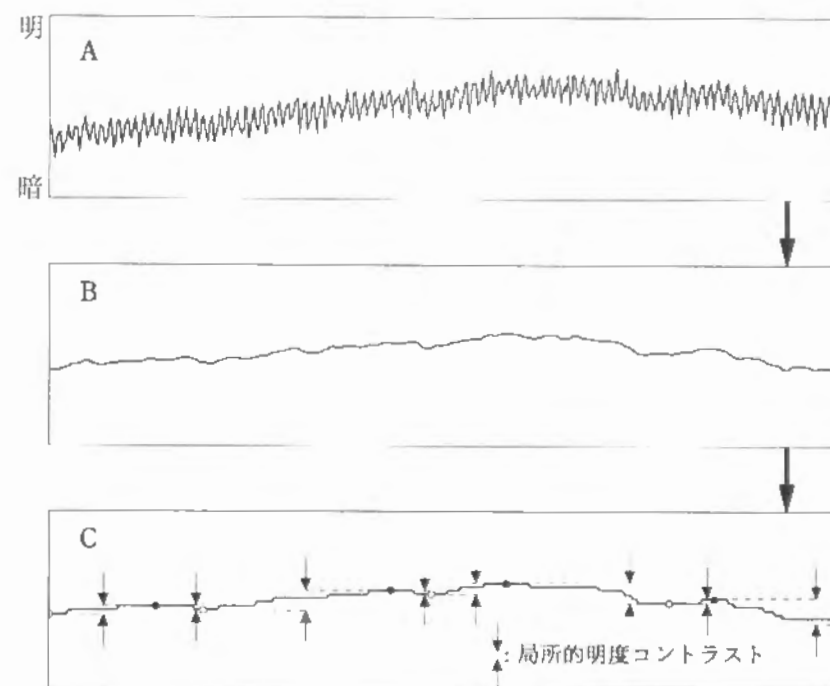


図5.5 局所的明度コントラストに注目した濃淡むらの数量化の概念図
A：原画像からの明暗変化曲線（ラインプロフィール）の取得
B：空間フィルタによるラインプロフィールの平滑化と平滑化プロフィール $L'(i)$ の取得
C：明度の山(●)と谷(○)の検出および局所明度コントラスト(C)の算出

これはパターンの早晚材の移行や散在する道管など細かな明暗の変化（高周波成分）をぼかす操作である。ちょうどヒトが離れたところから、あるいは、薄目を開けてまさ目模様を見ている状態に相当する。 σ は平滑化フィルタの大きさであり、今回は実寸で約5mmの範囲を平滑化するように設定した。

次に、濃淡むらの緩やかな明暗変化の山と谷、すなわち $L'(i)$ の頂点の数 M を数える。すると、明暗変化の頻度 F_c は、

$$F_C = M-1 \quad (5-2)$$

である。左から j 番目 ($1 \leq j \leq M$) の頂点の位置を i_j で表すことにすると、左から k 番目 ($1 \leq k \leq F_C$) の互いに隣接する山と谷の明度差は、

$$C_k = |L'(i_k) - L'(i_{k+1})| \quad (5-3)$$

で表される。これが局所コントラスト C_k である。 C_k の平均値、すなわち、平均コントラスト C_{avg} は、

$$C_{avg} = \frac{1}{F_C} \sum_{k=1}^{F_C} C_k \quad (5-4)$$

として求められる。さらにここから、局所コントラストのパラツキ（変動係数） C_{cov} が、

$$C_{cov} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{F_C} (C_k - C_{avg})^2}{(F_C - 1)}} / C_{avg} \quad (5-5)$$

で求められる。この C_{cov} は平滑化ラインプロファイルの特徴を表す統計量であり、値が小さいほど同じ明暗変化の繰返しということになる。

5.5.2 局所コントラストの変動係数と「自然さ」

(5-5) 式で得られる局所コントラストの変動係数 C_{cov} は、濃淡むらの特徴を表す視覚物理量の一つとみなすことができる。そこでイメージ調査に用いた各パネルの C_{cov} を求めて、「自然な－不自然な」イメージとの関係を検討した。なお、実際には 16 本のラインプロファイルの平均的な値を採用した。また、口絵 9、口絵 10 の各パネルの右下の数値は、それぞれのパネルの C_{cov} の値である。

図 5.6 は、 C_{cov} と「自然な－不自然な」イメージの関係である。口絵 9 の針葉樹材的なまき目パターンの C_{cov} は 0.5 ～ 0.9 であり、この範囲内ではパターンの「自然さ」は C_{cov} が大きいほど強くなる。一方、口絵 10 の南洋材的なまき目パターンの C_{cov} は 0.3 ～

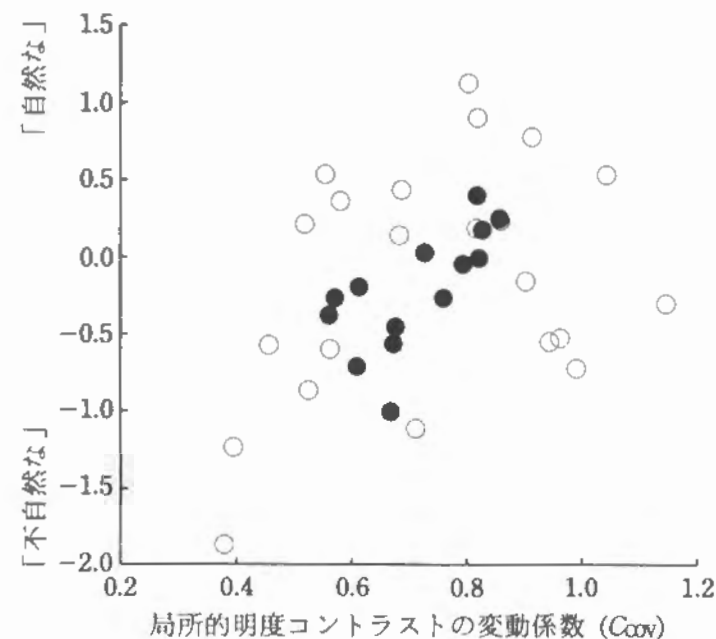


図5.6 局所的明度コントラストの変動係数(C_{cov})と「自然な－不自然な」イメージの関係
●：針葉樹材的なまき目パターン（14パネル）
○：南洋材的なまき目パターン（22パネル）

1.2 であるが、「自然な」イメージは $C_{cov}=0.8 \sim 0.9$ で最も強くなり、これ以上に C_{cov} が大きくなると「不自然な」イメージが強くなっていく。つまり、 C_{cov} には「自然な」イメージに関して最適値が存在するのである。そこでこの最適値 C_{covopt} を上に凸の 2 次回帰によって図 5.6 から求めたところ、 $C_{covopt}=0.85$ が得られた。

この数量化法を実際の木材に適用することも試みた。増田ら⁴⁹⁾によって木材のイメージ調査に用いられた 11 樹種 12 枚の B5 判大のまき目板について、上述のまき目パターンのときと同一の条件で解析したところ、 C_{cov} は 0.5 ～ 0.75 となった。ただし、これらの値には縦方向（軸方向）のゆらぎの影響が含まれている。このため、コンピュータで生成

された縦方向に均質なまさ目パターンの C_{cov} との単純な比較はできない。しかし、実際のまさ目板は本質的に「自然」であることを考えると、縦方向に色や形の変化のあるよりリアルなまさ目パターンの場合には $C_{covopt}=0.5 \sim 0.75$ であることも予想される。また、「銘木」と呼ばれる類のまさ目材について解析してみることも興味深い。

5.6 まとめ

まさ目パターンに現れた濃淡むらを低周波数視覚刺激であると考え、パターンの「自然な」イメージにどのような影響を与えるか検討した。濃淡むらの基本的な特性として、明白な周期性は「自然さ」を著しく損なうこと、また、「自然な」イメージに最適な濃淡むらの明度コントラストは $\Delta V=1$ 程度であることをまず明確にした。

次に、濃淡むらそのものを数量的に抽出する方法について考察した。「低周波数」に注目していることから、周期性を解析する際の定石ともいえる画像のフーリエ変換を行い、そのパワースペクトルを求めてみたが、この方法では濃淡むらを数量化することは難しいことを指摘した。そこで、「ヒトのまさ目パターンの見方」を考慮した「局所的明度コントラストに注目した濃淡むらの数量化」を行い、局所コントラストの変動係数 C_{cov} を濃淡むらの特徴を表す視覚物理量の一つとして提案した。

濃淡むら、あるいは第4章のグループのように、低周波数視覚刺激はパターンの「自然さ」や「感じのよさ」に大きな影響を与える重要な視覚因子である。本論文で提案した C_{cov} は、濃淡むらの特徴を客観的かつ定量的に表現する画像特徴量（統計量）の一つと考えられる。しかし、2周期、3周期のような超低周期を検出しにくいことや、その算出過程がヒトの視覚メカニズムを考慮したものではないことなど、今後検討すべき点も多い。

上では特に議論しなかったが、(5-1) 式の平滑化フィルタにどのような大きさのものを

選択するのが適切かということも重要な問題である。なぜならば、用いるフィルタの大きさに応じて、検出可能な明暗変化特徴の大きさ、すなわち周波数特性が変化するからである。逆にこの点を利用して、周波数特性の異なる複数のフィルタから様々な出力を得て、濃淡むらをはじめとする種々の視覚因子の数量化に利用することも可能であると考えられる。

第4章、第5章において、コンピュータ・グラフィックスによって様々なパターンを作製し、それらの見た目の「自然さ」に影響を及ぼす視覚因子について検討してきた。ここで見方を変えて実際の木材の側から考えてみると、どのような樹種、個体から切り出されたものであれ、木材の挽き板はどれもみな見た目に「自然」であることに気づく。実際の木材には「自然さ」に寄与する視覚因子が全て備わっており「自然」に見えるのは当然といえるが、だからこそ「木に見える」ともいえる。前章の図5.4で示したように、「木らしい」イメージの強いパターンは「自然な」イメージも強い。木に見えること、すなわち「木らしさ」という素材イメージが、視覚的な「自然さ」に大きく影響するのである。

一方で、大理石に代表される自然石のパターン（石目模様）も、明らかに「自然な」パターンである。上からの類推で、石に見えること、つまり「石らしさ」が「自然さ」につながると考えられる。

このように、「自然な」イメージは、「木らしさ」「石らしさ」のような素材イメージと密接に結びついている。そこでこの章では、木材および自然石の素材イメージに、視覚パターン（木目模様、石目模様）および色彩がどのような影響を与えるか検討する。

6.1 実験方法

6.1.1 原画像の選定

イメージ調査に用いる呈示用パネルを作製するために、木目模様や石目模様はそのまま、色彩のみが変化する木材や自然石の画像を、3.3で述べた画像処理法を応用して生成することにした。そのために、典型的な木目模様、石目模様、および両者の中間的なパタ

表6.1 原画像の選定基準と選定された画像用試料

	選定基準	選定画像
	岩石や鉱物の塊が無造作に寄せ集められたような石目模様	イタリアンブラウン
石材	生物組織的な石目模様	アラベスカート
	堆積縞の石目模様	セルベジャンテ
	軸方向が明確な板目模様	ダグラスファー（板目）
木材	軸方向が明確なまさ目模様	カラマツ（まさ目）
	木理が不連続な南洋材のまさ目模様	ビンタンゴール（まさ目）
	抽象柄的で軸方向が不明瞭な木目模様	カエデ（鳥眼杢）

ーンが含まれることを考慮して、表6.1に示すような試料の視覚的特徴に基づく選定基準を設定し、口絵11に示す木材4種類、大理石3種類の原画像を決定した。

選定した画像収録用試料は、木材については、ベイマツ板目、カラマツまさ目およびビンタンゴールまさ目（いずれも約40cm × 25cm × 1.5cmで表面がプレーナ仕上げされた挽き板）、および、カエデ鳥眼杢（約25cm × 25cmの自然木突き板化粧合板）であった。一方、大理石の試料は実際の石材ではなく、種々の石材が建築仕上げ材料としてカラー図版で掲載されている印刷物を収集し、イタリアンブラウンとアラベスカートには建材カタログ⁶⁴⁾の、また、セルベジャンテにはインテリア雑誌⁶⁵⁾の中の写真を用いることにした。いずれも磨き仕上げされた石材の写真であった。

6.1.2 原画像の入力および画像処理

原画像の入力には画像解析装置（ニレコ LUZEX Ⅲ）と、これに接続されたカラービデ

カメラ（ビクター KY-M280）を用いた。撮像距離やレンズの倍率を調節して、1辺約20cmの正方形に相当する領域を画像入力した。原画像の構成画素数は512×512個（解像度約0.39mm）で、1画素あたりのカラー階調数はR、G、Bそれぞれ256であった。

大型計算機（京都大学大型計算機センターFACOM M1800）を用いて、入力画像に対して3.3および3.4で述べた正規化変換処理および色彩変換処理を行った。正規化変換処理は、画像の平均的な明るさや、明度変化の範囲を異なる画像間でほぼ等しくするためのものである。また色彩変換処理は、原画像の色調をいわゆる木材色（以下YR系色）と、コンクリート色あるいは岩色（以下無彩色）に変えるためのものである。この2色に限定したのは、色彩の違いによる木材および石材の素材イメージの変化をより明確にとらえるためである。

6.1.3 呈示用パネルの仕上げ

処理の済んだ画像を画像解析装置のカラーディスプレイに表示し、カラーハードコピー装置（日本無線 VIDEOFIX II）を用いてカラーフィルムに撮影した。得られた写真を一つ一つの画素の粗れが明確にならない程度の大きさ（約17cm×17cm）に引き伸ばし、5mm厚の糊付きスチロールに貼布して呈示用パネルに仕上げた。7種類のYR系色パネルおよび7種類の無彩色パネルを口絵11に示す。また、測色計（日本電色製 Z-1001DP型、測定孔径30mm）を用いて測定した各パネルの平均的な色彩値を表6.2に示す。

6.1.4 イメージ調査

作製した呈示用パネルのイメージを一対比較法により調査した。パネルの観察距離は150cm～160cmとした。被験者は35名の男女学生であった。

2.1で述べたように、一対比較法によるイメージ調査は実行が簡便であり、パネルの視

表6.2 14枚の呈示用パネルの色彩値とパターンの異方度

画像名	呈示用パネルの色彩値								
	YR系色のパネル				無彩色のパネル				パターンの異方度
	パネル 番号	L^*	a^*	b^*	パネル 番号	L^*	a^*	b^*	
イタリアンブ ラウン	1	66.76	6.71	32.27	I	66.99	-3.68	-4.38	0.043
アラバ スカート	2	64.38	2.95	31.42	II	65.38	-2.99	-1.14	0.146
セルベジ アンテ	3	63.99	10.49	46.22	III	61.45	-7.52	-1.84	0.530
ダークラッシャー(板目)	4	67.50	5.82	42.68	IV	70.23	-5.30	-3.83	0.506
カラマツ(まさ目)	5	66.88	8.90	46.04	V	65.64	-6.55	-4.73	0.430
ヒノタンゴール(まさ目)	6	69.86	6.48	42.12	VI	65.54	-5.36	-1.45	0.212
カエデ(鳥眼全)	7	66.23	7.59	37.27	VII	65.51	-2.59	-2.17	0.164

覚イメージを精密に順位付けできる。しかし、14枚のパネル全ての相互比較を行う（比較回数14C2回）のは、被験者の疲労や所用時間を考慮した場合、困難である。7段階評価法で調査する手段もあるが、ここでは表6.3に示すような、それぞれ7枚のパネルからなる四つのパネルグループ（グループA、B、C、D）を構成し、各グループごとに一対比較法によるイメージ調査を行うことにした。これにより、各パネルのイメージをグループ内で序列化できるだけでなく、次項に述べるデータ処理により、全14パネル相互の比較が可能となる。

6.1.5 データ処理

これまで各パネルのイメージの強さを表す心理量を求めるために、第2章で述べた平均標準偏差基準化法を用いてイメージ調査データを処理してきた。しかし、平均標準偏差基準化法は、表6.3に示されているような四つのパネルグループから得られた調査データを一つにまとめて処理できるようにはまだ拡張されていない。そこでここでは、欠測値を含

表6.3 呈示用パネルのグループ分け

グループ名	パネル番号						
A	1	2	3	4	5	6	7
B	I	II	III	IV	V	VI	VII
C	I	II	III	4	5	6	7
D	1	2	3	IV	V	VI	VII

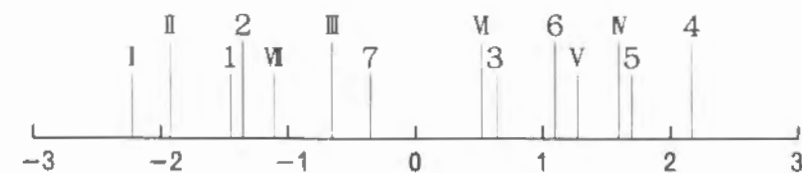
口絵11, 表6.2を参照

むデータから Thurstone 流の心理間隔尺度を構成するときに適用される Gulliksen 法^{46, 47)}で調査データを一括処理して、全 14 パネルの相互比較を行うことにした。したがって、この章で示される各パネルの心理量は、平均値が 0 となるように設定された Thurstone の心理間隔尺度値で表されている。

6.2 「木らしい」「石らしい」イメージ

図 6.1 および 6.2 に、14 枚のパネルの「木らしい」および「石らしい」イメージの心理量を数直線で表す。また、図 6.3 は両者の比較であるが、この図から明らかなように、「木らしい」イメージと「石らしい」イメージは高い負の相関関係にある（相関係数 -0.93 ）。

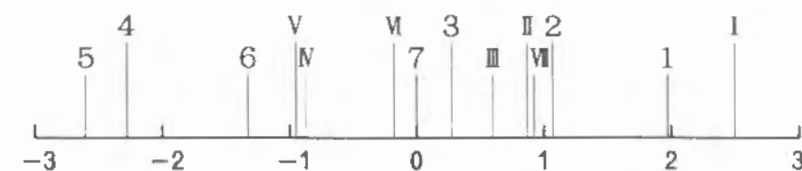
図 6.1 において、YR 系色の板目模様（4、算用数字は口絵 11 の YR 系色のパネル番号に対応、以下同じ。）は、「木らしい」イメージが特に強いパネルである。また、その色違いである無彩色のパネル（Ⅳ、ここに、ローマ数字は口絵 11 の無彩色のパネル番号に対応、以下同じ。）も、YR 系色のまさ目模様（5）には及ばないものの、相当に「木ら



「木らしい」イメージ

図6.1 「木らしい」イメージの心理尺度

算用数字：YR系色のパネル、ローマ数字：無彩色のパネル



「石らしい」イメージ

図6.2 「石らしい」イメージの心理尺度

算用数字：YR系色のパネル、ローマ数字：無彩色のパネル

しい」イメージが強い。図 6.2 では、岩石や鉱物を無造作にはめ込んだ無彩色の石目模様（Ⅰ）の「石らしい」イメージが非常に強く、その色違いの YR 系色のパネル（1）の「石らしさ」も強い。このように、1、Ⅰ、4、Ⅳのパネルの「石らしい」あるいは「木らしい」イメージは YR 系色か無彩色かの色彩変化に影響されにくく、そこに現れているパターン（柄、模様）によって、木か石かの素材感が決まるといえる。すなわち、板目模様は色調が木材色であってもコンクリート色であっても非常に「木らしい」パターンであり、同様に、1、Ⅰのパネルのパターンは「石らしい」イメージの強いパターンである。

一方、堆積縞の石目模様（3、Ⅲ）および鳥眼杓（7、Ⅶ）は、図 6.3 からわかるように、「木らしい」イメージも「石らしい」イメージも特に強くも弱くもない傾向にあり、

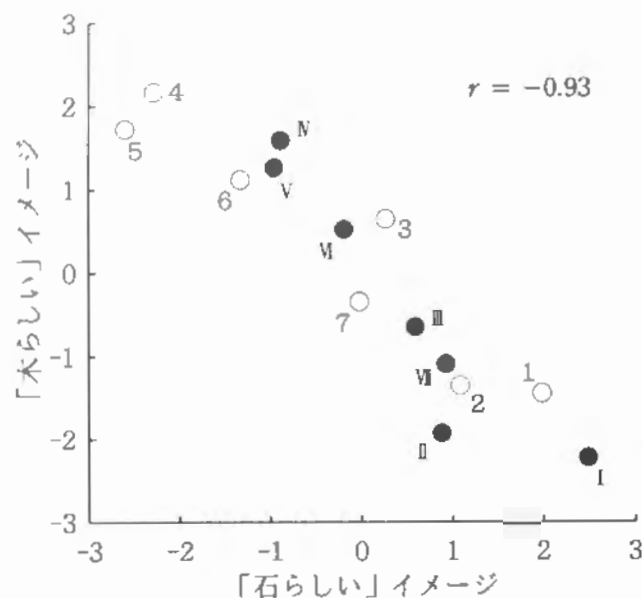


図6.3 「石らしい」イメージと「木らしい」イメージの関係
○：YR系色のパネル（算用数字）
●：無彩色のパネル（ローマ数字）

木か石かの素材イメージが曖昧なパネルである。3, Ⅲ, 7, Ⅶのパネルに特徴的なのは、YR系色か無彩色かの色彩変化に伴う「木らしい」「石らしい」イメージの変化が他のパネルに比べて大きいことである。図6.1の「木らしい」イメージの心理量の数直線において、YR系色の堆積縞の石目模様（3）は無彩色のもの（Ⅲ）より1尺度値以上「木らしく」なり、鳥眼杳（7, Ⅶ）や無彩色の南洋材のまさ目模様（Ⅶ）などの木目模様よりも「木らしい」石目模様である。一方、図6.2の「石らしい」イメージの数直線では、無彩色の鳥眼杳（Ⅶ）はYR系色のもの（7）より約1尺度値「石らしい」イメージが強くなり、木目でありながら本来の石目模様（Ⅱ, 3, Ⅲ）よりも「石らしく」なるといふ素材イメージの逆転が生じている。これは、パターンのみで木か石かの素材を判別するのが難しい場合、素材判別における色彩の役割が相対的に大きくなることを示している。パター

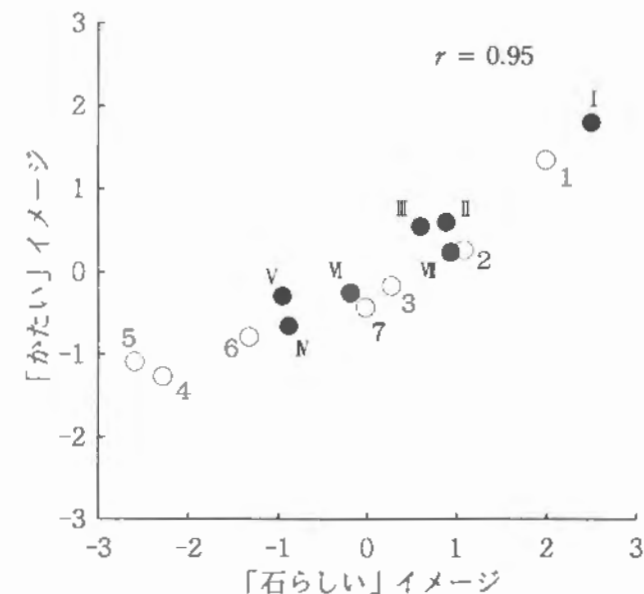


図6.4 「石らしい」イメージと「かたい」イメージの関係
○：YR系色のパネル（算用数字）
●：無彩色のパネル（ローマ数字）

ンの「木らしさ」や「石らしさ」が曖昧な場合には、色彩を種々変更することで、その材料の素材イメージを操作できるといへ、視覚デザイン的な利用を考える上で非常に興味深い。

同時に調査した「かたい」イメージは、図6.4に示すように、「石らしい」イメージと高い正の相関関係にある（相関係数 0.95）。逆に、「木らしい」イメージとは負の相関が高い（相関係数 -0.90）。「かたさ」のような材料表面の力学的性質に関連すると考えられるイメージには、「石は硬く、木は柔らかい」という潜在的知識の蓄積が暗黙のうちに影響し、「石らしさ」「木らしさ」のイメージと高い相関が現れたものと考えられる。

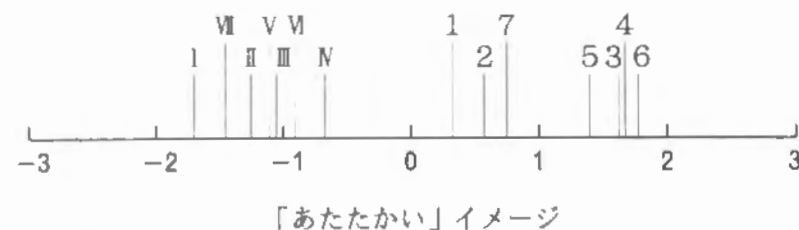


図6.5 「あたたかい」イメージの心理尺度
算用数字：YR系色のパネル，ローマ数字：無彩色のパネル

6.3 「木らしさ」と「あたたかさ」

14 パネルの視覚的な「あたたかさ」についても調査した（図 6.5）。図 6.5 の心理量の数直線は、パネルの色調が YR 系色であるか無彩色であるかで大きく二つのグループに分かれており、YR 系色のパネルは無彩色のものよりも格段に「あたたかい」ことがわかる。ただし、同じ色彩のパネルどうして比較した場合、「木らしい」イメージの強いパネルの方がより「あたたかい」傾向にある（図 6.6；YR 系色のパネルの相関係数 0.90、無彩色のパネルの相関係数 0.83）。

このように、パネルの視覚的な「あたたかさ」には、色彩が YR 系色か無彩色かがまず影響する。しかし、先述の「かたい」イメージと同様に、「石は冷たく、木は暖かい」という潜在的知識も影響しており、板目模様のような「木らしい」素材感を強く与えるパターンが存在が、より「あたたかい」イメージを与えることにつながると考えられる。したがって、コンクリート打放しの表面に板目パターンを転写することは、コンクリートの視覚的な「冷たさ」を緩和・低減するのに有効な手段であるといえよう。

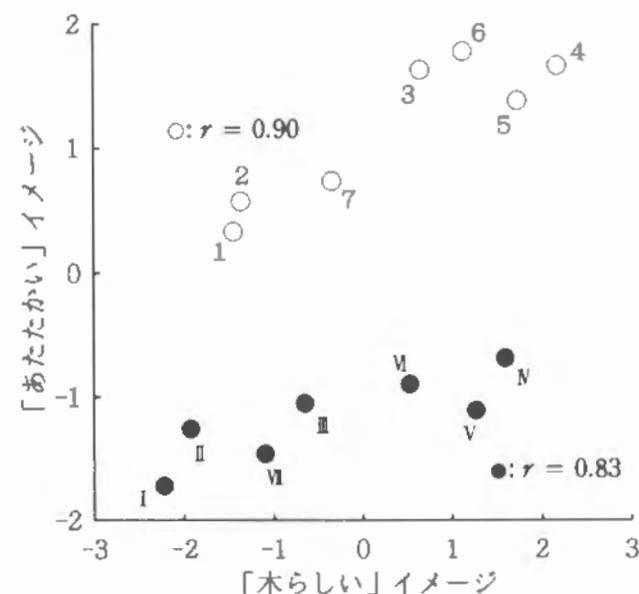


図6.6 「木らしい」イメージと「あたたかい」イメージの関係
○：YR系色のパネル（算用数字）
●：無彩色のパネル（ローマ数字）

6.4 「木らしい」イメージとパターンの異方性

以上述べたように、パターンや色彩は、パネルの「木らしさ」「石らしさ」、あるいは「あたたかさ」などのイメージに影響を与える重要な視覚的要因である。パターンか色彩のどちらかが支配的にイメージに効く場合でも、他方の影響は無視し難い。したがって、パターンのみがイメージに及ぼす影響をより一層明確にするには、パターンの特徴を何らかの方法により数量化する必要がある。今回の木材原画像を選ぶ基準（表 6.1）の一つに、木理の方向が明確に判別できるかどうかがあるが、これはパターンの方向のわかりやすさ、すなわち異方性に基づいた選定基準といえる。そこで、パターンの異方性を数量化し、「木らしい」イメージとの関係について調べた。

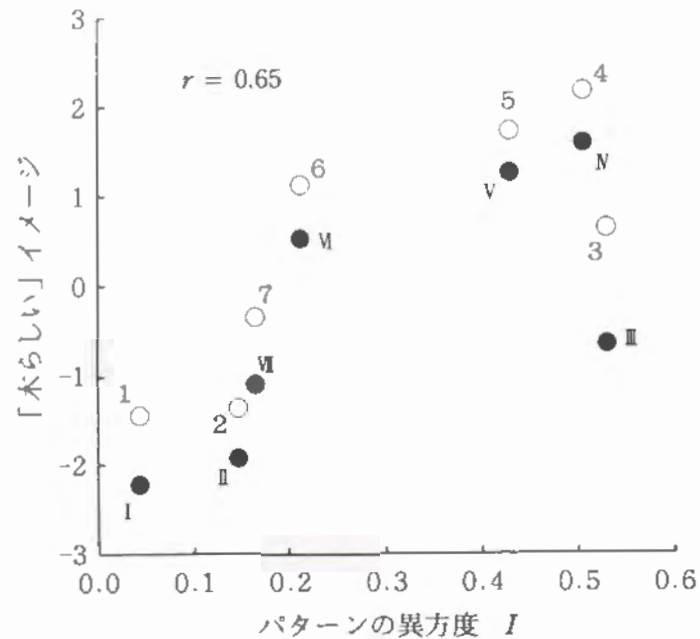


図6.7 パターンの異方度 I と「木らしい」イメージの関係
○：YR系色のパネル（算用数字）
●：無彩色のパネル（ローマ数字）

パターンの異方性を客観的に算出する手法はいくつか考えられるが、ここでは画像を水平方向に走査したときの明度分布の平均的なバラツキと、同じく垂直方向に走査したときのバラツキの比を用いて、パターンの異方度 I を以下のように求めた。なお、 I の計算は大型計算機を用いて、正規化変換処理後の画像に対して行った。

$$I = \begin{cases} \frac{S_H - S_V}{S_H} & (S_H \geq S_V) \\ \frac{S_V - S_H}{S_V} & (S_V \geq S_H) \\ 0 & (S_H = S_V = 0) \end{cases} \quad (6-1)$$

ここで、

$$S_H^2 = \sum_{i=1}^M (A_i - A_T)^2 / M, \quad S_V^2 = \sum_{j=1}^N (A_j - A_T)^2 / N,$$

$$A_i = \sum_{j=1}^N f(i, j) / N, \quad A_j = \sum_{i=1}^M f(i, j) / M, \quad A_T = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j) / MN.$$

$f(i, j)$ ($1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N$): 2次元画像, M : 水平方向画素数,

N : 垂直方向画素数.

I は 0～1 の値を取り、 I が大きいほどパターンの異方性・方向性が大きい。

上式によって求めた7種類の原画像のパターンの異方度 I を表 6.2 に示す。また、異方度 I と「木らしい」イメージの関係を図 6.7 に示す。各パターンの異方性の程度が数量的に把握でき、 I が大きい（異方性が大きい）ほど「木らしい」イメージが強くなる傾向にあることがわかる（相関係数 0.65）。すなわち、パターンの異方性あるいは方向性は、「木らしさ」の素材イメージに影響する視覚的要因の一つであると考えられる。ただし、堆積縞の石目模様（3, III）は、異方度 I が大きい割には、「木らしい」イメージが特に強いわけではない。このことは、異方性はパターンの「木らしさ」に寄与する一因子に過ぎず、パターンの持つ他の特徴についても考慮すべきであることを示唆している。

6.5 まとめ

本質的に見た目に「自然な」イメージを与えうる木材および自然石の「木らしさ」や「石らしさ」の素材感には、材料表面の視覚的特徴がどのように影響しているのか、パターンと色彩に注目して検討した。

板目模様は非常に「木らしい」パターンであり、岩石や鉱物を無造作にはめ込んだ石目

模様は非常に「石らしい」パターンであった。また、鳥眼杢や堆積縞の石目模様のパネルは、特に「木らしく」も「石らしく」もない素材イメージの曖昧なパターンを持つため、YR系色か無彩色かの色彩変化の影響を他のものよりも大きく受けた。パターンのみで素材を判別するのが難しい場合、素材判別における色彩の役割が相対的に大きくなるのである。パターンの「木らしさ」や「石らしさ」は、パネルの視覚的な「あたたかさ」にも影響を与えており、暖色であるYR系色がまず「あたたかさ」に効くものの、「木らしい」イメージの強いパネルほど「あたたかい」イメージを与えることがわかった。

パターンのどのような特徴が「木らしさ」や「石らしさ」に効くのか定量的に明らかにするために、パターンの異方性（方向性）と「木らしい」イメージの関係を調べたところ、パターンの向きが明確になるほど「木らしい」イメージが強くなる傾向が認められた。

このように、パターンおよび色彩は、材料の「木らしさ」や「石らしさ」に重要な影響を与える。より効果的に「自然さ」を視環境に導入するためにも、材料の持つ素材感を十分活かすことが必要である。

総 括

木材が見た目に「自然」であることは、誰もが経験的に知っていながら、どうして「自然」に見えるのか、あるいは、視覚的な「自然さ」とは何かについて、定量的にはほとんど明らかにされていない。本論文は木質パネルの視覚特性とイメージの関係を、視覚物理量と視覚心理量の関係として、客観的かつ定量的に論じたものである。

視覚的な「自然さ」や「感じのよさ」などのヒトの主観的心理状態を抽出するには、イメージ調査（官能検査）を行う必要がある。木質パネルのイメージを調べる際には、本物の木材で作製した実大寸法の呈示用パネルを用いることがもちろん望ましい。しかし、精密で系統的な調査をなるべく簡便に実施することに配慮すると、コンピュータ・グラフィックスで任意の木質パネル画像を自由自在に表現して、これを呈示用パネルに用いる方が都合がよい。このとき、小さい呈示用パネルで本来大きな木質パネルのイメージを調べることができるのかという、視覚的な寸法効果が特に問題となる。本論文では呈示用パネルの寸法効果についてまず検討しており、ミニチュアパネルを用いたイメージ調査の有効性を確認した。

調査データから木質パネルのイメージの強さを表す視覚心理量を得ることができる。そのための統計処理計算はなるべく簡単であることが望ましい。本論文ではイメージ調査データの簡易処理法として「平均標準偏差基準化法」を考案した。そしてこの簡易法が、煩雑な計算を要するThurstone流の心理尺度構成法と同様の心理量を得ることができる、非常に有効なデータ処理法であることを示した。

以上のように、本論文ではイメージ調査の実施方法からデータの処理法までを体系的に示すことにより、木質パネルの視覚イメージを視覚心理量として評価する方法を確立したのである。

上述の方法にしたがって様々な木質パネルのイメージ調査を行った。木質の壁面パネルに現れる面材と面材の継ぎ目の溝・グループが、パネルの「自然な」「感じのよい」イメ

ージに及ぼす影響については特に詳細な検討を加えた。そして、それらのイメージに最適なグループ間隔が相対分割数というシンプルな幾何学的関係量によって表せることを明らかにした。

コンピュータ・グラフィックスで生成した針葉樹材的まさ目パターンおよび南洋材的まさ目パターンの「自然さ」「感じのよさ」に、パターンに現れている濃淡むらがどのように寄与しうるか明らかにするためのイメージ調査も行った。この濃淡むらを視覚物理量として数量化するために、ヒトの視覚情報処理系を考慮した「局所的明度コントラストに注目した濃淡むらの数量化法」を提案し、連続的に明暗が変化する木材特有の視覚的な特徴を客観的に把握するのに有効であることを示した。

以上のグループおよび濃淡むらに共通するのは、ともに視覚フレーム中に1～20周期しか現れていない低周波数の視覚刺激であるという点である。Campbellら⁶⁶⁾はヒトの視覚のメカニズムが低周波数刺激に対して特に敏感であることを、格子刺激の空間周波数とコントラスト感受性の関係から明らかにした。また、視野に入った対象の大まかな印象（低周波数成分）は即座につかむことができるが、細かな特徴（高周波数成分）は注視しなければなかなか判別できないことは、経験的にも理解される。本論文では、このような低周波数視覚刺激が、木質パネルの「自然な」「感じのよさ」イメージに大きな影響を与えることを示したのである。

一方、「木らしい」イメージの強いパネルほど「自然な」イメージが強いことに着目して、「木らしさ」のような素材イメージが何に由来するのかについても若干の考察を行った。木目パターンと大理石の石目パターンの比較から、異方度が大きい（方向性が明瞭な）パターンほど「木らしい」という結果を得たのであるが、このことは低周波数刺激の方向性も木材の「自然さ」に特徴的な視覚因子であることを示唆している。

当然のことながら、低周波数視覚刺激は木質パネルの「自然な」「感じのよい」イメージに影響を与える様々な視覚因子の一つに過ぎない。しかし、以上の議論から明らかなように、木質パネルの「自然さ」を考える上で無視することのできない重要な視覚因子であ

り、今後さらに深く究明されていくべきであると考え、そのためにはヒトの視覚のメカニズムを考慮したより効果的な数量化法の開発が必要である。

本論文では「自然な」イメージに寄与する視覚因子として低周波数刺激を設定したわけであるが、「木材が『自然』に見えるのは『不自然な』視覚因子が存在していないからである」という立場で、「不自然さ」に寄与する視覚因子とは何かを考えていくことにより、木材の「自然さ」がより明快に理解される可能性がある。研究手法上の今後の課題として、「不自然さ」から木材の「自然さ」にアプローチすることがあげられよう。

第1章で述べたように、イメージや感性と呼ばれる主観的な心理を工学的に取り扱う試みは始まったばかりである。本論文が木材科学におけるこの分野の発展に資することを願ってやまない。

本研究の遂行ならびに本論文の作成にあたり、京都大学農学部・佐道 健 教授 には、懇切なご指導と終始変わらぬ親身な激励を賜った。本論文のとりまとめに際して、京都大学木質科学研究所・佐々木 光 教授 ならびに 京都大学農学部・吉田 博宣 教授 には、貴重なご教示を賜った。

京都大学農学部・増田 稔 助教授 からは、本研究を開始するきっかけを与えていただいたとき以来、一貫して懇切なご指導と貴重なご教示の数々を賜ってきた。本論文を取りまとめることができたのは、増田先生のご指導に負うところが非常に大きい。

呈示用パネルの作成、イメージ調査の実施など実験の遂行にあたっては、稲垣 真由美氏、平松 靖 氏 をはじめ、京都大学農学部木材工学研究室の各位から多大なご協力をいただいた。岐阜大学教育学部・杉森 正敏 助手 には、同大学における出張イメージ調査の実施にあたって、格別の便宜を図っていただいた。

本研究は地道なイメージ調査を積み重ねている。300名を越す多数の被験者の方々のご協力が得られなければ、この論文は成立しなかった。

妻・公子 ならびに 筆者と妻の家族 には、本論文の作成を陰から熱心に支えていただいた。

以上の方々に対して、ここに謹んで深甚なる感謝の意を表します。

- 1) 佐道 健, 岩崎昌一: 木材学会誌, 35 (12), pp.1073-1079 (1989)
- 2) 加藤弘之, 増田 稔: 京都大学農学部演習林報告, No.61, 292-300 (1989)
- 3) C. C. Brunner, G. B. Shaw, D. A. Butler, J. W. Funck: Wood and Fiber Science, 22 (4), pp.413-428 (1990)
- 4) 和田 博: 木材学会誌, 37 (3), pp.206-210 (1991)
- 5) 岩崎昌一, 佐道 健: 木材学会誌, 37 (11), pp.999-1003 (1991)
- 6) 杉森正敏: 木材学会誌, 39 (1), pp.1-6 (1993)
- 7) 和田 博: 木材学会誌, 39 (1), pp.19-23 (1991)
- 8) 増田 稔: 材料, 34 (383), pp.972-978 (1985)
- 9) 増田 稔, 加藤弘之, 堀尾慶彦: 京都大学農学部演習林報告, No.61, 301-309 (1989)
- 10) 長町三生: “感性工学”, 海文堂 (1989)
- 11) 辻, 原島, 杉江, 安西, 古井, 堂下: “感性と情報処理”, 一松 信・村岡洋一監修, 日本学際会議編, 共立出版 (1993)
- 12) 増田 稔: 木材学会誌, 38 (12), pp.1075-1081 (1992)
- 13) 増田 稔, 仲村匡司: 京都大学農学部演習林報告, No.59, 273-282 (1987)
- 14) 岡島達雄, 若山 滋, 野田勝久, 小西啓之: 日本建築学会構造系論文報告集, 369, pp.9-15 (1986)
- 15) 岡田 稔, 横井茂樹: Computer Today, No.33, pp.29-33, サイエンス社 (1989)
- 16) T. Tochigi, K. Onose, H. Satoh, K. Sakatsume: Mokuzai Gakkaishi, 29 (12), pp.845-852 (1983)
- 17) 宮崎良文, 本橋 豊, 小林茂雄: 木材学会誌, 38 (10), pp.903-908 (1992)
- 18) 宮崎良文, 本橋 豊, 小林茂雄: 木材学会誌, 38 (10), pp.909-913 (1992)
- 19) 増田 稔: 材料, 32 (359), pp.893-898 (1983)
- 20) 武者利光: “ゆらぎの世界”, 講談社, pp.91-97, 129-134 (1980)
- 21) 岡島達雄, 久保哲夫, 野田勝久, 藤林和照: 日本建築学会構造系論文報告集, 356, pp.16-23 (1985)

- 22) 岡島達雄, 林 裕二, 小西啓之, 野田勝久: 日本建築学会構造系論文報告集, 372, pp.1-9 (1987)
- 23) E. Yodogawa: Perception & Psychophysics, 32 (3), pp.230-240 (1982)
- 24) 上坂吉則: 数理科学, No.246, pp.38-45, サイエンス社 (1983)
- 25) 高木隆司: “形の数理”, 朝倉書店, pp.13-42 (1992)
- 26) 長尾 真: “パターン情報処理”, コロナ社, pp.4-71 (1983)
- 27) 舟久保 登: “視覚パターンの処理と認識”, 啓学出版, pp.1-31, 69-87, 99-127 (1990)
- 28) 木内雄二: “画像認識の話 [第2版]”, 日刊工業新聞社 (1993)
- 29) D. Marr: "Vision", W. H. Freeman and Company (1982) (乾 敏郎・安藤広志訳, 産業図書 (1987))
- 30) R. J. Watt: "Visual Processing: Computational, Psychological, and Cognitive Research", Lawrence Erlbaum Associates Ltd. (1988) (乾 敏郎監訳, サイエンス社 (1989))
- 31) 川入光男: “脳の仕組み”, 読売新聞社 (1992)
- 32) 品川嘉也: Computer Today, No.9, pp.13-16, サイエンス社 (1985)
- 33) 品川嘉也: “バイオコンピュータ”, 共立出版, pp.87-90 (1987)
- 34) 辻 一郎: “感性情報処理”, 一松 信・村岡洋一監修, 日本学際会議編, 共立出版, p.23 (1993)
- 35) 新村 出編: “広辞苑 第4版”, 岩波書店, p.590 (1992)
- 36) JIS Z8101: “品質管理用語”, 日本規格協会, p.25 (1981)
- 37) JIS Z9080: “官能検査通則”, 日本規格協会, (1979)
- 38) 佐藤 信: “官能検査入門”, 日科技連, p.1 (1978)
- 39) 増山英太郎, 小林茂雄: “センソリー・エバリュエーション”, 垣内出版, p.7 (1989)
- 40) 同上, p. 9
- 41) 増田 稔, 山本尚美: 京都大学農学部演習林報告, 60, pp.285-298 (1988)
- 42) 増田 稔, 仲村匡司: 京都大学農学部演習林報告, 62, pp.297-303 (1990)
- 43) 佐藤 信: “統計的官能検査法”, 日科技連, 1985, pp. 131 - 158
- 44) 仲村匡司, 増田 稔: 木材工業, “イメージ調査データの簡易処理法”, 受理済

- 45) M.A.Saffir: Psychometrika, 2(9), pp.179-198 (1937)
- 46) 日科技連官能検査委編: “新版官能検査ハンドブック”, 日科技連, pp.471-481 (1973)
- 47) 佐藤 信: “統計的官能検査法”, 日科技連, pp.271-289 (1985)
- 48) 杉山高一, 牛沢賢二: “パソコンによる統計解析”, 朝倉書店, pp.28-29 (1984)
- 49) 増田 稔, 今道香織, 仲村匡司, 佐道 健: 第44回日本木材学会大会要旨集, p.525 (1994)
- 50) 田中良久: “尺度構成”, 東京大学出版会, pp.144-156 (1973)
- 51) 増山英太郎, 小林茂雄: “センソリー・エバリュエーション”, 垣内出版, pp.182-190 (1989)
- 52) 佐藤幸男: “信号処理入門”, オーム社, 1987, p.4
- 53) 武者利光: “ゆらぎの世界”, 講談社, pp.132-133 (1980)
- 54) 佐道 健: “木材組織の周期構造的解析に関する研究 (昭和63年度科学研究費補助金研究成果報告書 代表者・原田 浩)”, pp.11-14 (1989)
- 55) 仲村匡司, 増田 稔: 木材学会誌, 36 (11), 930-935 (1990)
- 56) 仲村匡司, 増田 稔: 木材学会誌, 37 (5), 390-395 (1991)
- 57) 仲村匡司, 増田 稔, 稲垣真由美: 木材学会誌, 39 (2), 152-160 (1993)
- 58) 今井大介, 増田 稔: 第44回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.526 (1994)
- 59) 仲村匡司, 増田 稔: 木材学会誌, “まさ目パターンの濃淡むらの視覚特性”, 受理済
- 60) 加藤 力: “インテリアデザインの仕事”, 彰国社, pp.116-117 (1990)
- 61) 佐道 健: “木材の物理 (分担執筆)”, 文永堂, pp.234-236 (1985)
- 62) 岡島達雄, 久保哲夫, 野田勝久, 藤林和照: 建築学会構造系論文報告集, 356, pp.16-23 (1985)
- 63) 仲村匡司, 増田 稔, 平松 靖: 木材学会誌, 40(4), pp.364-371 (1994)
- 64) “アーストン'92-'93カタログ”, INAX, p.31 および p.44 (1992)
- 65) “コンフォルト”, No.6, 建築資料研究社, p.160 (1991)
- 66) F. W. Campbell, L. Maffei: Scientific American, Nov. 1974, pp.106-114